

# PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

## FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA  
**UNIVERSIDAD**  
**CATÓLICA**  
DEL PERÚ

### ANÁLISIS Y MEJORA DE PROCESOS EN UNA EMPRESA TEXTIL EMPLEANDO LA METODOLOGÍA DMAIC

Tesis para optar el Título de **Ingeniero Industrial**, que presentan los bachilleres:

**William Christopher Joseph Ordóñez Alcántara**

**Jorge Arturo Torres Castañeda**

**ASESOR: Lucy Aragón Casas**

Lima, febrero de 2014

## RESUMEN

El presente estudio tiene como objetivo disminuir la variabilidad en el proceso de corte de una empresa textil empleando la metodología DMAIC.

El trabajo se inicia con el desarrollo del marco teórico que sirve como fundamento para el planteamiento de la metodología. Seguidamente, se realiza una descripción de la organización, su infraestructura, recursos y proceso productivo. Asimismo, se realiza un diagnóstico donde se selecciona el proceso de corte como el más crítico. Luego, se desarrolla las etapas de definición, medición, análisis, propuestas de mejora y control de las mismas en el proceso seleccionado.

En la etapa de definición se identifica el principal problema en el proceso de corte que resulta ser la diferencia en medidas de las piezas cortadas. Para ello, fue necesario describir el proceso, conocer la voz del cliente y priorizar los principales problemas del proceso.

En la etapa de medición se describe el método empleado para la toma de datos, se selecciona las variables críticas del proceso; para luego, planificar la toma de muestras y realizar las mediciones de capacidad de proceso. Además, se realizó un estudio R&R para verificar la exactitud del sistema de medición.

En la etapa de análisis se determinan y analizan las causas que originan los productos defectuosos en el proceso de corte. Además, de acuerdo al resultado del diseño de experimentos desarrollado, se determinaron los factores relevantes para la variable de respuesta.

En la etapa de mejora se diseñan las propuestas de mejora en base a los resultados obtenidos en las etapas previas. Se establecen los valores adecuados de los factores identificados como relevantes, según los resultados del diseño de experimentos, para optimizar el proceso de corte. Se propone la implementación de herramientas de mejora como Poka Yoke, programa 5'S, un plan de capacitación, estandarización del proceso de corte y un plan de mantenimiento para las máquinas de corte.

En la etapa de control de las mejoras se propone el uso de gráficas de control por variable y la utilización de una hoja de verificación con el fin de monitorear el proceso de corte.

Finalmente, se realiza una evaluación técnica y económica de las propuestas de mejoras, obteniendo como resultado la viabilidad económica del proyecto.

**TEMA DE TESIS**

PARA OPTAR : Título de Ingeniero Industrial

ALUMNOS : **WILLIAM CHRISTOPHER JOSEPH ORDOÑEZ**  
**ALCÁNTARA** **JORGE ARTURO TORRES CASTAÑEDA**

CÓDIGOS : 2007.2353.7.12  
2006.2254.9.12

PROPUESTO POR : Ing. Lucy G. Aragón Casas

ASESOR : Ing. Lucy G. Aragón Casas

TEMA : ANÁLISIS Y MEJORA DE PROCESOS EN UNA  
EMPRESA TEXTIL EMPLEANDO LA METODOLOGÍA  
DMAIC.

Nº TEMA :

FECHA : San Miguel, 10 de octubre de 2013

**JUSTIFICACIÓN:**

El sector textil en Perú ha presentado un crecimiento sostenido en las exportaciones de prendas de vestir desde el 2010 hasta el año 2012 alcanzando en este último año un monto de 1,625.10 millones de dólares, según las cifras del Instituto Nacional de Estadística e Informática. Siendo Estados Unidos el principal país de destino con una participación aproximada de 30,6% en valor FOB de acuerdo a los datos del comité textil de la Sociedad Nacional de Industrias<sup>1</sup>.

Asimismo, las importaciones de prendas de vestir en los últimos años se han incrementado alcanzando en el año 2012 la cifra de 347 millones de dólares en valor CIF. Siendo China el país que representa la mayor contribución en importaciones de prendas de vestir con un 35,5%. Por otro lado, el precio promedio de importación CIF fue de US\$ 5.31 por kilogramo; mientras que, el precio promedio de exportación FOB fue de US\$ 19.68 por kilogramo de acuerdo a lo señalado por la Sociedad Nacional de Industrias. Estas cifras demuestran que las prendas importadas se encuentran subvaluadas y a precios dumping.<sup>2</sup>

---

<sup>1</sup> Sociedad Nacional de Industrias, 2013, "Estadísticas de exportación del sector textil y confecciones". Lima, pp. 1-2

<sup>2</sup> Sociedad Nacional de Industrias, 2012, "Situación actual del sector textil peruano". *Revista Institucional*. Lima, nº 872, pp.12-14

Considerando el contexto descrito previamente, las empresas que se encuentran en la industria textil del Perú se ven en la necesidad de tener procesos efectivos que les permitan ser más competitivos y rentables en su rubro. Una de las herramientas que permiten reducir costos, mejorar la productividad, disminuir defectos, entre otros beneficios es la metodología DMAIC (por sus siglas en inglés: *Define, Measure, Analyze, Improve and Control*), utilizada en el desarrollo proyectos Seis Sigma. Esta metodología consiste en definir el problema, medir, analizar, proponer mejoras y controlar los procesos involucrados (Pande 2000: pp 12).<sup>3</sup>

La empresa en estudio se dedica a la confección y exportación de prendas de vestir desde hace más de 23 años. El crecimiento de la empresa ha sido consistente con el crecimiento de la industria en los últimos años. Del mismo modo, la empresa ahora debe mejorar los procesos para mantener su nivel de competitividad y mejorarla en el mejor de los casos. Uno de los problemas más relevantes que tiene la empresa en cuanto a la calidad de sus procesos son los costos elevados ocasionados por el reproceso y deshecho de los productos defectuosos. El porcentaje de productos defectuosos asciende aproximadamente a 15% en algunos procesos, siendo el más crítico el proceso de corte de las telas.

Por lo expuesto anteriormente, el presente estudio trata sobre el análisis y propuesta de mejora del proceso productivo en una empresa textil empleando la metodología DMAIC.

#### **OBJETIVO GENERAL:**

Analizar y mejorar el proceso productivo de una empresa textil empleando la metodología DMAIC.

#### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS:**

- Desarrollar el marco teórico de la metodología DMAIC y de las herramientas de la calidad a utilizar.
- Describir la empresa en la cual se aplicará la metodología DMAIC.
- Diagnosticar el proceso productivo y priorizar los problemas a tratar.
- Analizar y diagnosticar los procesos seleccionados previamente.
- Plantear las propuestas de mejora para solucionar los problemas encontrados.
- Evaluar el impacto técnico y económico de las propuestas realizadas.

#### **PUNTOS A TRATAR:**

##### **a. Marco teórico. (WCJOA – JATC)**

Se desarrollará los aspectos teóricos de la metodología DMAIC y se describirán las herramientas de calidad necesarias para el diseño de las propuestas de mejora.

---

<sup>3</sup> Pande, Peter, 2000. *"The Six Sigma Way"*. Estados Unidos: *The MacGraw- Hill*, pp. 12.

**b. Descripción y diagnóstico de la empresa. (WCJOA – JATC)**

Se realizará una descripción de la organización de la empresa, su infraestructura, sus recursos y el proceso productivo. Se analizará los problemas de la empresa para seleccionar los procesos críticos que posteriormente serán analizados mediante la metodología DMAIC.

**c. Aplicación de la metodología DMAIC a la problemática actual. (WCJOA – JATC)**

Se aplicará la metodología DMAIC a los procesos críticos seleccionados previamente. En la etapa definición se describirá el proceso seleccionado, se identificará sus principales problemas y se definirán los requerimientos de cliente. Seguidamente, en la etapa de medición se estudian las variables críticas del proceso relacionadas a los problemas identificados previamente. En la etapa de análisis se identificará las causas principales que afectan al proceso. Finalmente, como resultado de este diagnóstico se plantearán las propuestas de mejora y el control de las mismas.

**d. Evaluación técnica y económica de las propuestas de mejora. (WCJOA – JATC)**

En este último apartado se realiza la evaluación técnica y económica de las propuestas de mejora.

**e. Conclusiones y recomendaciones.**

-----  
ASESOR

(WCJOA) WILLIAM CHRISTOPHER JOSEPH ORDOÑEZ ALCÁNTARA  
(JATC) JORGE ARTURO TORRES CASTAÑEDA

## DEDICATORIA

A Dios, por darnos su bendición día a día y por ser el camino que guía nuestras vidas.

A nuestra asesora, Ing. Lucy Aragón Casas, por el tiempo y la ayuda brindada durante el desarrollo de la presente investigación. A la Ing. Lisbet Falla por su constante apoyo.

(William Ordóñez – Jorge Torres)

A mis padres, Marco y Gloria, por su amor y apoyo incondicional durante toda mi vida. A mis hermanos, Marco y Gustavo, por su ayuda constante. A mis abuelitos, Guillermo y Gloria por su cariño incesante. A mis tíos Luis Guillermo, Marco y William por sus buenos consejos e impulso. A mi amigo Jorge por su perseverancia y apoyo durante esta investigación.

(William Ordóñez)

A mis padres, Lucila y Arturo, por su incondicional y continuo apoyo durante todo este tiempo. A mi hermana Brenda, por ser la alegría de mi vida. A todos mis familiares y seres queridos por ser una fuente de valores. Finalmente, a mi amigo William, por su constancia y empeño.

(Jorge Torres)



## ÍNDICE

CAPÍTULO 1 Marco Teórico .....	13
1.1. Proceso .....	13
1.2. Mejora de proceso y Calidad .....	14
1.3. Costos de calidad.....	16
1.4. Seis Sigma.....	17
1.5. Metodología DMAIC y sus etapas .....	19
1.5.1. Definir .....	20
1.5.2. Medir .....	20
1.5.3. Analizar .....	21
1.5.4. Mejorar .....	21
1.5.5. Controlar.....	21
1.6. Herramientas de la calidad.....	22
1.6.1. Herramientas de la Etapa Definir .....	22
1.6.1.1. Diagrama SIPOC .....	22
1.6.1.2. Diagrama de Proceso.....	23
1.6.1.3. Voz del Cliente (VOC) .....	24
1.6.2. Herramientas de la Etapa Medir .....	24
1.6.2.1. Capacidad de Proceso .....	24
1.6.2.2. Transformación Box-Cox .....	25
1.6.3. Herramientas de la Etapa Analizar .....	26
1.6.3.1. Diagrama causa efecto .....	26
1.6.3.2. Lluvia de ideas .....	27
1.6.3.3. Diagrama de Pareto .....	28
1.6.3.4. Análisis Modal Falla Efecto (AMFE) .....	29
1.6.4. Herramientas de la Etapa Mejorar .....	30
1.6.4.1. Diseño de Experimentos (DOE) .....	30
1.6.4.2. Diseño factorial 2k .....	31
1.6.4.3. Poka Yoke .....	35
1.6.4.4. 5'S.....	35
1.6.5. Herramientas de la Etapa Controlar .....	36
1.6.5.1. Cartas de Control por Variables .....	36
CAPÍTULO 2: La Empresa .....	38

2.1.	La Organización .....	38
2.2.	Entidades participantes en el modelo del negocio .....	38
2.2.1.	Clientes .....	38
2.2.2.	Proveedores.....	38
2.2.3.	Competidores.....	39
2.3.	Instalaciones y medios operativos.....	39
2.3.1.	Planta o fábrica.....	39
2.3.2.	Tipo de distribución .....	40
2.4.	Maquinaria y equipos.....	40
2.4.1.	Máquinas en el Área de almacenaje .....	40
2.4.2.	Máquinas y Herramientas en el Área de corte .....	41
2.4.3.	Máquinas en el Área de costura .....	41
2.4.4.	Máquinas en el Área de bordado .....	41
2.4.5.	Máquinas en el Acabado y empaquetado .....	41
2.5.	Materia prima e insumos .....	42
2.5.1.	Materia prima .....	42
2.5.2.	Insumos.....	42
2.6.	Recursos Humanos .....	43
2.7.	El producto.....	43
2.7.1.	Tipos de producto.....	43
2.7.2.	Proceso productivo de los principales productos .....	44
2.8.	Control de calidad .....	45
2.9.	Problemática actual .....	46
CAPÍTULO 3: Aplicación de la metodología DMAIC a la problemática actual .....		48
3.1	Etapas Definir .....	48
3.1.1	Proceso de Corte .....	48
3.1.2	Voz del cliente .....	53
3.1.3	Tipos de Fallas Frecuentes .....	54
3.1.4	Definición de los principales problemas.....	56
3.2	Etapas Medir .....	56
3.2.1	Método empleado para la toma de muestras y mediciones del área de Calidad.....	57
3.2.2	Selección de las variables a medir .....	58
3.2.3	Prueba de Normalidad de las variables .....	61



3.2.4 Gráfica de Control para las variables .....	63
3.2.5 Análisis de Capacidad de Proceso .....	66
3.2.6 Estudio R&R del Sistema de Medición. ....	68
3.3 Análisis de datos y búsqueda de la raíz de los problemas .....	71
3.3.1 Diagrama Causa – Efecto (Ishikawa).....	71
3.3.2 Análisis Modal Falla Efecto (AMFE) .....	73
3.3.3 Diseño de Experimentos .....	75
3.4 Propuesta de mejora de los principales problemas .....	82
3.4.1 Optimización de Diseño de Experimentos .....	83
3.4.2 Método de Poka Yoke.....	84
3.4.3 Implementación 5'S.....	86
3.4.4 Plan de Capacitación a Personal.....	88
3.4.5 Estandarización de Procesos.....	89
3.4.6 Plan de mantenimiento preventivo de las máquinas de corte .....	89
3.5 Control de las mejoras propuestas.....	90
3.5.1 Gráfico de Control por variable .....	90
3.5.2 Monitoreo con hoja de verificación .....	91
CAPÍTULO 4: Evaluación técnica y económica de la propuesta de mejora .....	92
4.1 Evaluación técnica de las propuestas de mejora .....	92
4.1.1. Costos de propuestas de mejora .....	92
4.1.2 Proyección de ahorros estimados.....	95
4.2 Evaluación económica de las propuestas de mejora .....	97
4.2.1. Evaluación económica .....	97
4.2.2. Análisis de sensibilidad.....	98
CAPÍTULO 5: Conclusiones y recomendaciones.....	100
5.1 Conclusiones.....	100
5.2 Recomendaciones .....	102
Referencias Bibliográficas .....	103

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 Interacción de Procesos .....	13
Gráfico 2 Efecto de la Calidad .....	15
Gráfico 3 Costos de la Calidad .....	16
Gráfico 4 Ancho de Proceso .....	18
Gráfico 5 Metodología DMAIC .....	19
Gráfico 6 Diagrama SIPOC.....	22
Gráfico 7: Diagrama de Proceso.....	23
Gráfico 8: Comparación de índices de capacidad .....	25
Gráfico 9 Diagrama Espina de Pescado .....	27
Gráfico 10: Diagrama de Pareto .....	29
Gráfico 11 Experimento sin interacción.....	31
Gráfico 12 Experimento con interacción.....	31
Gráfico 13 Análisis de aleatoriedad.....	34
Gráfico 14: Análisis de variabilidad .....	34
Gráfico 15: Análisis de normalidad.....	35
Gráfico 16 Diagrama Pareto de Producción por Clientes (marzo-abril 2013) .....	44
Gráfico 17 Diagrama SIPOC – Proceso de Corte .....	49
Gráfico 18 Diagrama de Proceso de Corte .....	50
Gráfico 19 Diagrama CQT para el área de corte.....	54
Gráfico 20 Diagrama de Pareto Tipos de Falla en el periodo enero – abril 2013....	54
Gráfico 21 Diagrama Pareto de frecuencia de fallas en medidas .....	59
Gráfico 22 Histograma de Diferencia Medidas por tipo de Medición .....	60
Gráfico 23 Resumen Descriptivo para Diferencias Largo Espalda HB .....	61
Gráfico 24 Prueba de Normalidad Diferencias Largo Espalda HB .....	62
Gráfico 25 Resumen Descriptivo Diferencias Largo Delantero HB.....	62
Gráfico 26 Prueba de Normalidad Largo Delantero HB.....	63
Gráfico 27 Gráfico de control X-R Diferencia Largo Delantero HB .....	63
Gráfico 28 Gráfico de control X-R Diferencia Largo Espalda HB.....	64
Gráfico 29 Gráfico de Control Largo Delantero HB .....	65
Gráfico 30 Gráfico de Control para Largo Espalda HB .....	65
Gráfico 31 Capacidad de proceso largo delantero HB .....	66
Gráfico 32 Capacidad de proceso largo espalda HB.....	67
Gráfico 33 ANOVA sistema de medición.....	68
Gráfico 34 R & R del sistema de medición.....	68
Gráfico 35 Análisis R & R del Sistema de Medición (ANOVA) del área de corte ....	70
Gráfico 36 Diagrama Causa Efecto - Falla en Medidas.....	71
Gráfico 37 Resumen de Diseño de Experimento .....	76
Gráfico 38 Matriz DOE.....	77
Gráfico 39 Desarrollo de Cortes en Experimento .....	78
Gráfico 40 Gráfico de Cubos para diferencias DOE .....	80
Gráfico 41 Análisis de Varianza DOE .....	80
Gráfico 42 Gráfica normal de Efectos Estandarizados .....	81
Gráfico 43 Grafico de efectos principales.....	81
Gráfico 44 Gráfico de contorno de diferencia vs. B, A.....	82
Gráfico 45 Optimización de DOE .....	83
Gráfico 46 Propuesta Poka Yoke 1 .....	85

Gráfico 47 Propuesta Poka Yoke 2.....

85

Gráfico 48 Propuesta Poka Yoke 3.....

86

Gráfico 49 Curva OC .....

91

Gráfico 50 Distribución de frecuencias para VPN .....

99

Gráfico 51 Distribución de frecuencia TIR.....

99



## ÍNDICE DE TABLAS

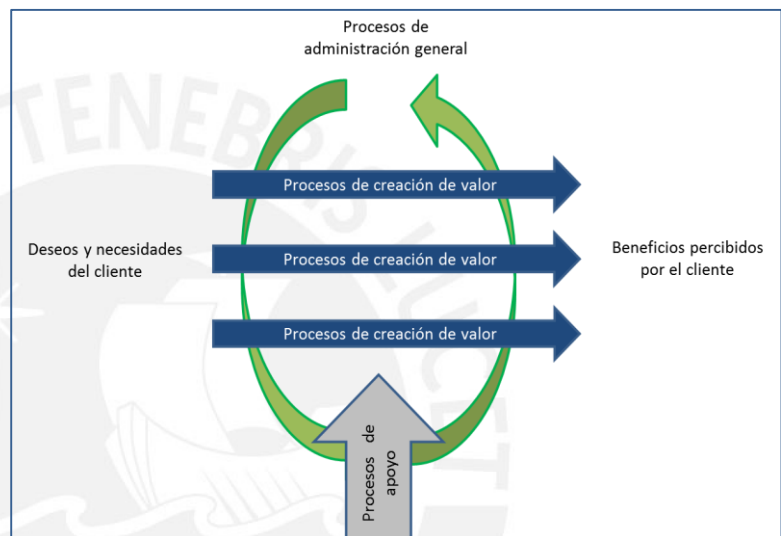
Tabla 1 Interpretación nivel sigma .....	17
Tabla 2 Comparación Calidad Tradicional vs Seis Sigma .....	19
Tabla 3: Condiciones Experimentales .....	31
Tabla 4 Análisis de Varianza .....	33
Tabla 5 Puntuación de Matriz de Priorización de Problemas .....	47
Tabla 6 Matriz de Priorización de Problemas en la Empresa .....	47
Tabla 7 Plan de Muestreo de la Empresa .....	57
Tabla 8 Registro de diferencias de medidas .....	58
Tabla 9 Resumen por tipo de medida .....	59
Tabla 10 Valores mínimos recomendados para capacidad de proceso .....	67
Tabla 11 Criterio Aceptación Sistema Medición .....	69
Tabla 12 Número de Categorías Sistema Medición .....	69
Tabla 13 Análisis Modal Falla Efecto del Área de Corte .....	74
Tabla 14 Programación DOE .....	77
Tabla 15 Resultados Variable de Respuesta .....	79
Tabla 16 Costo Diseño de Experimentos .....	92
Tabla 17 Costo Poka Yoke Contador .....	93
Tabla 18 Costo Poka Yoke Acondicionado Estantes .....	93
Tabla 19 Costo Poka Yoke Check List .....	93
Tabla 20 Costo Implementación 5'S .....	94
Tabla 21 Costo Estandarización .....	94
Tabla 22 Costo Implementar Gráficos de Control .....	95
Tabla 23 Costo total de propuestas de mejora .....	95
Tabla 24 Análisis de escenarios .....	96
Tabla 25 Proyección Ahorro .....	97
Tabla 26 Estructura de Financiamiento .....	97
Tabla 27 Resultados Evaluación Económica .....	98

## CAPÍTULO 1 Marco Teórico

En este capítulo, se definen los conceptos teóricos relacionados a la metodología DMAIC que serán utilizados en el planteamiento de las propuestas de mejora para los procesos en estudio. Los conceptos desarrollados en este capítulo son los siguientes: proceso, mejora de procesos y calidad, costos de calidad, seis sigma, metodología DMAIC y herramientas de la calidad.

### 1.1. Proceso

De acuerdo con Collier un proceso es una sucesión de actividades que busca la obtención de un cierto resultado (2009:17). Sin embargo, no basta conocer solo la definición sino que se debe entender los procesos desde el punto de vista de los negocios. Por ello, el autor menciona que los procesos de negocios incluyen los siguientes procesos:



**Gráfico 1 Interacción de Procesos**

Fuente: Collier (2009: 17)

Elaboración Propia

- Proceso de creación de valor, este busca concentrarse en los bienes y servicios primarios con el fin de generar valor.
- Proceso de apoyo, son los procesos de soporte en todo sistema, tales como, compras, administración de inventario, mantenimiento, soporte al cliente, etc.
- Proceso de administración general, este considera a contabilidad, administración de RR.HH, sistemas de información y marketing.

En gráfico n°1 se puede observar la interacción entre los tipos de procesos descritos anteriormente.

## 1.2. Mejora de proceso y Calidad

De acuerdo con Collier la mejora de procesos difícilmente se realiza a partir de la nada; por el contrario, es resultado del rediseño de procesos ya existentes (2009:281). Es importante mencionar que dicha mejora busca:

- Elevar el nivel de ingresos de la compañía al tener procesos más eficientes (reducción de defectos y mermas), permitiendo además la posibilidad de adquirir mejor tecnología.
- Aumentar la agilidad de respuesta ante posibles cambios en la demanda y las expectativas del cliente.
- Elevar la calidad del producto o servicio al cliente reduciendo el porcentaje de defectos, errores, fallas o mal servicio.
- Reducir las actividades que no generen valor agregado o disminuir los costos con el empleo de mejor tecnología.
- Reducción en el tiempo de flujo del proceso al eliminar esperas o movimientos innecesarios.

Se debe tener en cuenta que la primera instancia de la mejora se da con la cuantificación del desempeño real para poder realizar comparaciones con rendimientos pasados y analizar los impactos obtenidos. Sin embargo, lo ideal es finalmente compararla con el rendimiento de empresas reconocidas por sus mejores prácticas.

Según el autor Montgomery calidad está directamente relacionada con la adecuación para el uso y desde el punto de vista moderno la define como inversamente proporcional a la variabilidad (2006: 2-4). Además se indica que la calidad tiene 8 diferentes dimensiones entre las cuales tenemos:

- Desempeño: permite determinar si el producto sirve para el fin proyectado.
- Confiabilidad: permite conocer la frecuencia de fallas del producto o servicio brindado.
- Durabilidad: permite conocer la duración o tiempo de vida de un producto.
- Facilidad de servicio: determinar la facilidad de reparación o mantenimiento del producto.
- Estética: permite determinar el atractivo visual del producto (si luce bien).
- Características incluidas: permite determinar la utilidad del producto y características adicionales que le permitan superar el desempeño de la competencia.

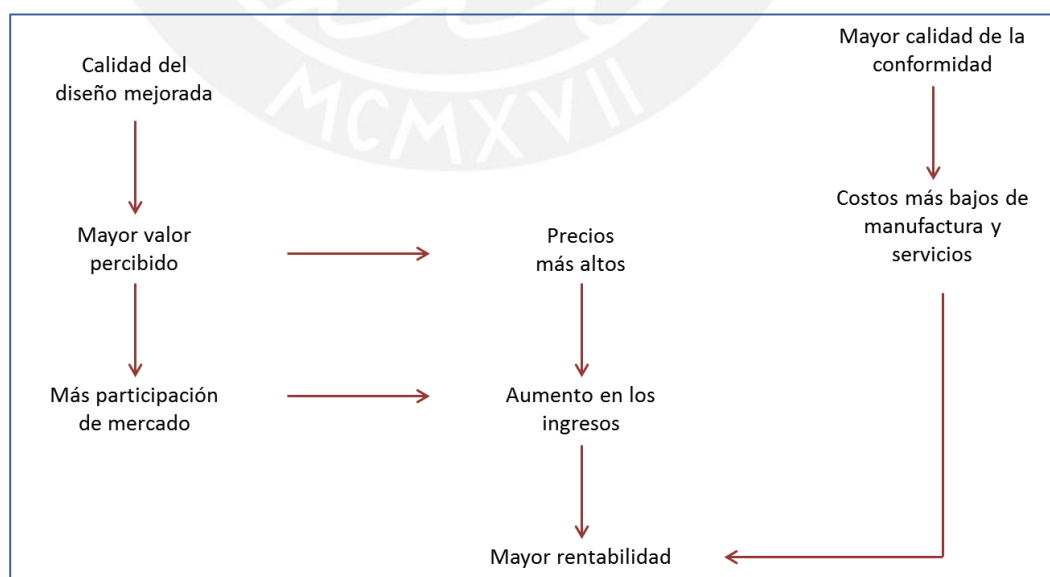


- Calidad percibida: permite determinar cuál es la reputación de la compañía o del producto ofrecida por esta.
- Conformidad con los estándares: permite determinar si el producto se produce de acuerdo con las especificaciones del diseñador.

Cabe indicar que hoy en día la calidad cumple el rol de ventaja competitiva, de acuerdo con investigaciones realizadas por la empresa PIMS Associates, quien maneja información sobre el desempeño corporativo de empresas manufactureras en el mundo (Collier 2009: 125). Según su análisis se encontró lo siguiente:

- Las empresas que ofrecen productos o servicios de alta calidad pueden acceder a grandes mercados.
- Si bien es cierto la calidad implica inversión, se encontró que las empresas que ofrecen productos o servicios de calidad pueden alcanzar el triple de ingresos sobre las ventas a comparación de sus similares que ofrecen un producto de baja calidad.
- La calidad permite gozar de mayor participación en el mercado, esto se puede observar en el aumento de ingresos sobre las ventas por parte de la compañía.
- Un productor de un bien de alta calidad alta tiene la capacidad de fijar un precio alto.

En el gráfico n° 2, se describe el efecto de la calidad sobre la rentabilidad



**Gráfico 2 Efecto de la Calidad**

Fuente: Collier (2009: 126)

Elaboración Propia

### 1.3. Costos de calidad

Los costos de calidad, según Montgomery, son aquellos vinculados con la producción, identificación, evitación o reparación de productos que no cumplen con las especificaciones que se requieren y su cuantificación buscará identificar posibilidades de mejora y con ello la reducción de los costos de calidad (2006: 27-30).

Dichos costos se clasifican en:

- Costos de prevención, son aquellos costos que se incurren en el área de diseño y producción con la finalidad de prevenir posibles fallas del producto.
- Costos de valuación, son aquellos costos que se incurren al realizar auditorías que permitan confirmar que un producto, componente o material se encuentra en las condiciones idóneas y de acuerdo con los estándares establecidos.
- Costos de fallas internas, ocurre cuando el producto, componente o material no cumple las especificaciones de calidad establecidas y dichas fallas se identifica antes de entregar el producto al cliente.
- Costos de fallas externas, se incurre cuando el producto no cumple con su fin establecido de una manera idónea luego de ser entregado al cliente.

En el gráfico n °3 se muestra los costos de calidad y sus especificaciones de costo en cada caso:

Costos de calidad	
Costos de prevención	Costos de fallas internas
Planeación e ingeniería de calidad	Desechos
Revisión de nuevos productos	Reprocesamiento
Diseño de productos / proceso	Repetición de pruebas
Control de proceso	Análisis de fallas
Encendido	Tiempo ocioso
Capacitación	Pérdidas de rendimiento
Adquisición y análisis de datos sobre la calidad	Degradación (fuera de especificación)
Costo de valuación	Costos de fallas externas
Inspección y prueba del material de entrada	Ajustes de quejas
Inspección y prueba de producto	Producto / material devuelto
Material y servicios de consumidor	Cargo por garantía
Mantenimiento de la precisión del equipo de prueba	Costo de responsabilidad legal
	Costos indirectos

**Gráfico 3 Costos de la Calidad**

Fuente: Montgomery (2006:27)

Elaboración Propia

## 1.4. Seis Sigma

El concepto seis sigma fue introducido en la década de los años 80's por la empresa Motorola. Este concepto se basa en una metodología que fue impulsada por Bob Galvin, quien fuera presidente de la compañía en ese entonces, y que anunció en enero de 1987 el objetivo más famoso de los programas orientados en calidad de los Estados Unidos: *"Lograr un nivel de calidad Seis sigma en nuestros productos y servicios equivalente a 3.4 defectos por millón para el año 1992"* (Barba, Boix y Cuatrecasas: 2000 pp 12). Gracias a esta filosofía Motorola logró obtener resultados cercanos a un nivel sigma de 5,5 y obtuvo el Malcolm Baldrige National Quality Award en el año 1988.

Según el autor Escalante, seis sigma significa una métrica, una filosofía y una meta; el autor da a entender que seis sigma es una forma de medir el desempeño de los procesos, significa además mejoramiento continuo basado en herramientas estadísticas y que tiene como meta obtener un proceso de clase mundial al no producir defectuosos (2003: 17). La tabla n° 1 nos muestra que si se obtiene un nivel de seis sigma se obtienen 3.4 defectos por millón, y los costos relacionados a la calidad son menores al 10 % de las ventas.

**Tabla 1 Interpretación nivel sigma**

Sigma	PPM	Costos de Calidad	Nº de Palabras equivocadas
6	3,4	< 10 % Ventas	1 en una pequeña librería
5	233	10 - 15 % Ventas	1 en varios libros
4	6210	15 - 20 % Ventas	1 en 31 páginas
3	66807	20 - 30 % Ventas	1,35 por página
2	308537	30 - 40 % Ventas	23 por página
1	690000		159 por página

Fuente: Escalante (2003:17)

Elaboración Propia

Según la definición de Pyzdek, Seis sigma es una implementación rigurosa, enfocada y muy eficaz de principios de calidad y técnicas demostradas (2003: 3 - 5).

Es importante mencionar que la metodología seis sigma se basa en la satisfacción al cliente; se busca conocer la voz del cliente (VOC) para poder definir puntos críticos para su satisfacción (CTS). El cliente define la VOC la cual se traduce en CCR (Requerimientos críticos para el cliente), CTQ (Críticos para la calidad), CTD (Críticos para entrega a tiempo) y CTC (Críticos para el costo).

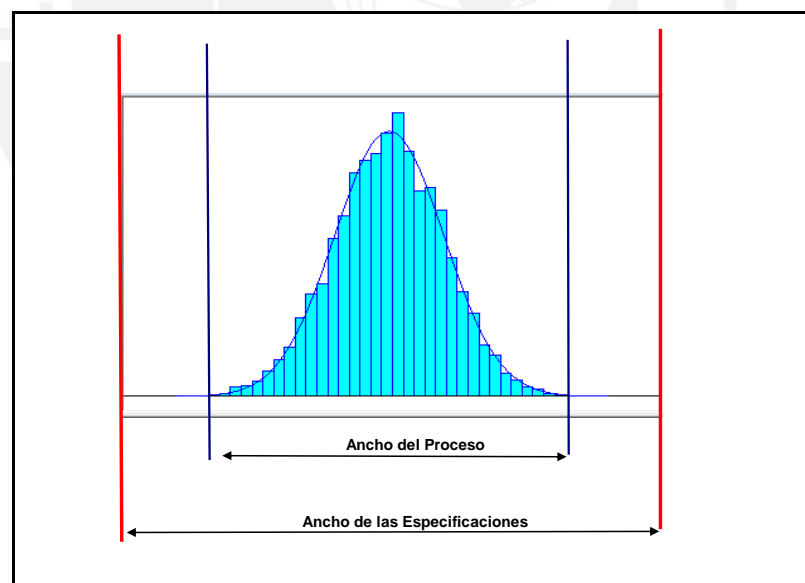
Para poder lograr la satisfacción del cliente se debe disminuir la variación en los procesos y la metodología seis sigma tiene como objetivo lograr disminuir la variación para de esta manera aumentar el nivel sigma.

El gráfico n° 4 muestra que en el enfoque seis sigma el ancho de las especificaciones debe contener el ancho del proceso. El ancho de las especificaciones representa la voz del cliente mientras que el ancho del proceso es la voz del proceso.

Cabe mencionar que la metodología seis sigma se ha convertido en una herramienta muy poderosa debido a su enfoque proactivo que centra el control en las variables claves de entrada al proceso y no en las salidas de los procesos. Seis sigma se enfoca en controlar los procesos, en controlar las causas raíces (Xs) de las variables dependientes (Ys).

$$Y = F ( x_1, x_2, \dots, x_n )$$

A continuación, se muestra en la tabla n° 2 un comparativo entre el concepto de calidad tradicional versus seis sigma (Fraile, Villar y Monzón 2002: 48)



**Gráfico 4 Ancho de Proceso**

Elaboración Propia

Fuente: Instituto para la Calidad

Tabla 2 Comparación Calidad Tradicional vs Seis Sigma

Calidad Tradicional	Seis Sigma
Está centralizada. Su estructura es rígida y de enfoque reactivo	Está descentralizada en una estructura constituida para la detección y solución de los problemas. Su enfoque es proactivo
Se enfoca solamente en la inspección para la detección de los defectos (variables claves de salida del proceso) Por Mórtem	Se enfoca hacia el control de las variables claves de entrada al proceso, las cuales generan la salida o producto deseado del proceso.
La toma de decisiones se efectúa sobre la base de presentimientos	La toma de decisiones se basa en datos precisos y objetivos
Se aplican remedios provisionales o parches. Se corrige en vez de prevenir	Se va a la causa raíz para implementar soluciones sólidas y efectivas y así prevenir la recurrencia de los problemas

Fuente: (Fraile, Villar y Monzón 2002: 48)  
Elaboración Propia

1.5. Metodología DMAIC y sus etapas

Un proyecto seis sigma sigue la metodología DMAIC. Esta metodología debe su nombre a las siglas en inglés para definir, medir, analizar, mejorar y controlar (Pyzdek 2003: 238). En el gráfico nº 5 se observa la relación entre las etapas de la metodología. A continuación se define cada etapa de la metodología:



Gráfico 5 Metodología DMAIC  
Elaboración Propia

### 1.5.1. Definir

En esta etapa del proyecto se debe definir los objetivos para la actividad a mejorar. Los objetivos más relevantes se obtienen por los requerimientos de los clientes (Pyzdek 2003: 238 pp). En esta etapa, se utilizan herramientas como:

- Diagrama SIPOC: es un diagrama de alto nivel que sirve para identificar el área a mejorar.
- Diagrama de Proceso: una vez identificada el área se procede a elaborar un diagrama de proceso donde se detallan aquellos factores críticos de los procesos.
- Voz del cliente (VOC): un proyecto Seis Sigma debe tener como prioridad la satisfacción del cliente; es por esto, que se debe identificar las especificaciones del cliente. Según Breyfogle los pasos para definir la VOC son:
  - Definir a tu cliente
  - Obtener las necesidades del cliente
  - Asegurar que el objetivo del proyecto es atender los requerimientos del cliente.
- Critical Quality Tree (CQT):

Al finalizar la etapa, se debe haber definido los objetivos del proyecto de mejora, los entregables y los plazos para la ejecución del proyecto.

### 1.5.2. Medir

Según Yang la medición es un paso muy importante, ya que involucra la colección de datos para evaluar el nivel actual de performance del proceso y provee la información necesaria para las etapas de análisis y mejora (2003: 44 pp). En esta etapa se debe usar métricas que ayuden a monitorear el progreso con respecto a los objetivos definidos en el paso anterior. Se utilizan herramientas como:

- Índice de Capacidad del Proceso: se utiliza para medir el desempeño actual del proceso y verificar si se está cumpliendo con las especificaciones del cliente.
- Estudio Gage R&R: se utiliza para validar el sistema de medición



### 1.5.3. Analizar

En esta etapa se hace un análisis de la situación actual del sistema y se identifica las maneras para disminuir la brecha para alcanzar el objetivo deseado (Pyzdek 2003 pp 238). En esta etapa se utilizan herramientas como:

- Diagrama de Pareto
- Análisis Modal Falla Efecto
- Diagrama ISHIKAWA
- Lluvia de ideas

Los resultados del análisis pueden proveer las causas de un mal performance del proceso, así como las fuentes de variabilidad (Breyfogle 2003: 383 pp).

### 1.5.4. Mejorar

Se debe encontrar nuevas maneras de hacer las cosas de la mejor manera, más barato o más rápido. Se debe usar métodos estadísticos para poder validar las mejoras (Pyzdek 2003: 238 pp). Algunas herramientas que se utilizan en esta fase son:

- Diseño de Experimentos
- Estandarización de Proceso
- Poka Yoke
- 5 S`
- Uso de Controles Visuales

### 1.5.5. Controlar

Se debe controlar el nuevo sistema. Para esto, se debe institucionalizar la mejora a través de programas de incentivo, políticas, procedimientos y sistemas de gestión (Pyzdek 2003: 238 pp). En esta etapa se puede optar por buscar la estandarización de procesos como la norma ISO 9001. Además, se usarán herramientas estadísticas para medir la estabilidad del nuevo sistema. En esta etapa se utilizan herramientas como:

- Gráficos de Control
- Hojas de verificación (Check List)
- Procedimientos

## 1.6. Herramientas de la calidad

### 1.6.1. Herramientas de la Etapa Definir

#### 1.6.1.1. Diagrama SIPOC

SIPOC (Proveedores, Entradas, Procesos, Salidas, Clientes) es un mapa de proceso que se usa en la fase de Definir de la metodología DMAIC. En este mapa se representan los procesos principales del negocio y se identifican las posibles medidas (Pande y Holpp, 2002 pp 46-49).

Según Pyzdek se deben realizar una serie de preguntas que serán reflejadas en el cuadro SIPOC. Estas preguntas están relacionadas a conocer más sobre el proceso y a encontrar la parte del negocio que debe ser mejorada con el proyecto. A continuación se muestran las preguntas que el autor propone.

PROVEEDORES	ENTRADAS	PROCESOS	SALIDAS	CLIENTES
Proveedor de tela	Tela		Piezas cortadas	Área de Costura
		Inspeccionar tela		
		↓		
Proveedor de máquina		Tender Tela		
		↓		
		Se realiza corte		
		↓		
		Se realiza acabado de corte		
	↓			
		se juntan piezas		

**Gráfico 6 Diagrama SIPOC**

Elaboración Propia

- ¿Para qué parte interesada del negocio existe este proceso primario?
- ¿Qué valor agrega el proceso? ¿Cuál es la salida del proceso?
- ¿Quién es el dueño del proceso?
- ¿Quién suministra los insumos en el proceso?
- ¿Cuáles son las entradas del proceso?
- ¿Qué recursos usa este proceso?
- ¿Qué pasos crean valor en el proceso?
- ¿Existen subprocesos?

Al responder estas preguntas y plasmarlas en un formato estándar se crea la matriz SIPOC. Para empezar a crear el mapa SIPOC el autor propone los siguientes pasos:

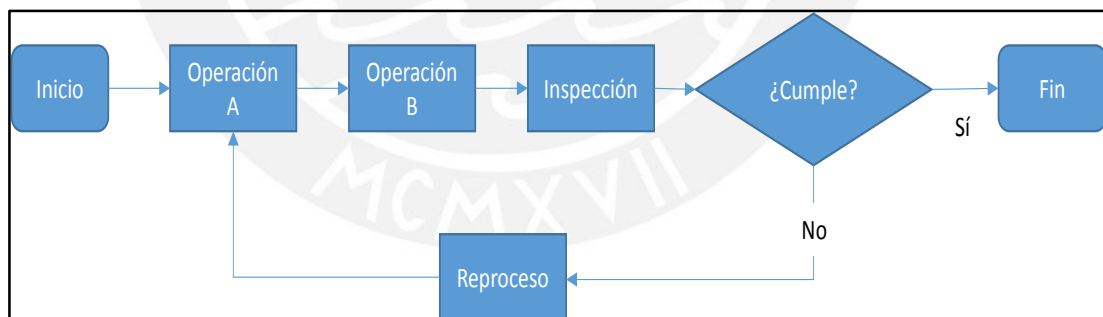
- Crear un mapa general del proceso
- Identificar las salidas del proceso
- Identificar el cliente que recibirá las salidas.

- Identificar los insumos requeridos para que el proceso pueda generar las salidas.
- Identificar los proveedores de los insumos.
- Limpiar la lista mediante el análisis, refraseo, combinación de ideas, etc.
- Crear el diagrama SIPOC.

Finalmente, todo se representa en un diagrama como se muestra en el gráfico n° 6. El diagrama SIPOC ayuda a enfocarse en las variables X's que conducen a los resultados las Y's (2003: pp 238).

#### 1.6.1.2. Diagrama de Proceso

El Diagrama de Proceso es una herramienta que refleja una secuencia completa de lo que sucede desde el comienzo hasta el final del proceso (Breyfogle, 2003: pp 102). En él se debe identificar los parámetros de proceso y las características del producto. El gráfico n° 7 muestra el esquema para elaborar un diagrama de proceso, se debe identificar aquellos parámetros que son controlables, críticos y de ruido. Según Breyfogle, un parámetro controlable es aquel que se puede modificar y que afecta directamente al proceso. Por otro lado, un parámetro de ruido es aquel que no se puede controlar directamente. Además, se identifican aquellos parámetros que son críticos para el proceso. Estos parámetros son identificados por expertos del proceso (2003: pp 10).



**Gráfico 7: Diagrama de Proceso**

Fuente: (Breyfogle 2003:104 pp)

### 1.6.1.3. Voz del Cliente (VOC)

La "voz del cliente" es el término utilizado para describir las necesidades o requisitos establecidos y no declarados de los clientes. La voz del cliente se puede capturar en una variedad de formas: debate directo o entrevistas, encuestas, grupos de enfoque, las especificaciones del cliente, la observación, los datos de garantía, informes de campo, los registros de quejas, etc. (Breyfogle 2003: pp 53).

### 1.6.2. Herramientas de la Etapa Medir

#### 1.6.2.1. Capacidad de Proceso

Según Montgomery se entiende por capacidad de proceso a la uniformidad del mismo. Es decir, el proceso es capaz de cumplir con las especificaciones del cliente. Para esto, se sugiere que los límites de tolerancia natural del proceso estén dentro de los límites de especificación del cliente (2006: 357-360). Para evaluar la capacidad de un proceso se requiere dos condiciones:

- El proceso debe estar bajo control estadístico, es decir que los datos no estén fuera de los límites de control.
- La distribución de los datos debe ser Normal

A continuación se presentarán algunos índices para medir la capacidad de los procesos.

#### ➤ Índice de Capacidad potencial del Proceso ( $C_p$ )

$$C_p = \frac{\text{Rango de especificaciones}}{\text{Rango del proceso a corto plazo}} = \frac{(LES - LEI)}{6(\sigma)St}$$

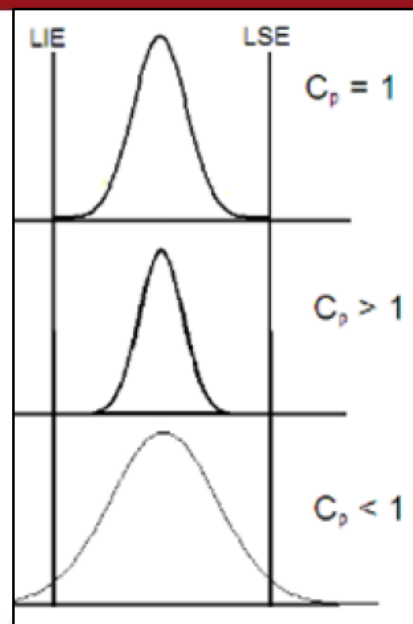
En este índice se computa la tolerancia natural del proceso como  $6\sigma$ . Además, compara las tolerancias de las especificaciones con la tolerancia natural del proceso y se interpreta de la siguiente manera:

- Si  $C_p > 1$ , el proceso se considera potencialmente capaz de cumplir con las especificaciones y genera un porcentaje de defectuosos menor a 0.27 % (Escalante 2003 : 221-227)
- Si  $C_p = 1$  el proceso es a penas capaz.

- Si  $C_p < 1$  el proceso no es potencialmente capaz.

El gráfico n° 8 muestra las diferencias entre los índices CP. Se observa que mientras menor es la variación de los datos el  $C_p$  aumenta. En un nivel seis sigma se cumple que el  $C_p$  del proceso equivale a 2.

Es importante mencionar que para evaluar este índice se requiere que el proceso esté centrado, es decir que el promedio del proceso esté exactamente en el centro de las especificaciones. En caso contrario, se evalúa el índice  $C_{pk}$  o índice de capacidad real.



**Gráfico 8: Comparación de índices de capacidad**

Fuente: (Montgomery 2006: pp 217)

#### ➤ Índice de Capacidad Real ( $C_{pk}$ )

El índice de capacidad real se usa cuando el promedio del proceso no se encuentra centrado entre los límites de especificaciones. Este índice compara la mínima distancia entre la media y los valores máximos y mínimos de las especificaciones sobre tres veces la desviación estándar.

$$C_{pk} = \frac{\text{Mínimo entre } (LES - \text{media}) \text{ y } (\text{media} - LEI)}{3(\sigma)St}$$

De igual forma que en el índice  $C_p$ , el valor óptimo debe ser mayor a 1. Para procesos seis sigma este índice tiene el valor de 2.

#### 1.6.2.2. Transformación Box-Cox

Un camino para resolver la no normalidad de los datos y la heterocedasticidad (no homogeneidad de las varianzas) es utilizando la transformación Box-Cox. Esta transformación convierte las observaciones no normales en normales. La transformación se presenta a continuación:

$$T(y) = \frac{y^\lambda - 1}{\lambda}, \lambda \neq 0$$

$$T(y) = \lg(y), \lambda = 0$$

Siendo:  $T(y)$ : variable transformada

$y$ : variable no normal

$\lambda$ : potencia lambda

### 1.6.3. Herramientas de la Etapa Analizar

#### 1.6.3.1. Diagrama causa efecto

El diagrama causa efecto, también conocido como diagrama Ishikawa, es un esquema que muestra las causas probables que están ocasionando un problema (Escalante 2003:46).

De acuerdo con lo descrito por Gómez, Villar y Tejero, el diagrama de Ishikawa se debe utilizar para (2003:193):

- Identificar características y parámetros claves.
- Identificar las diferentes causas que afectan a un problema
- Entendimiento de un problema por parte del grupo de trabajo

El diagrama causa efecto está ligado con uno o más factores (6 Ms) y que participan de todo proceso productivo (Escalante 2003:46):

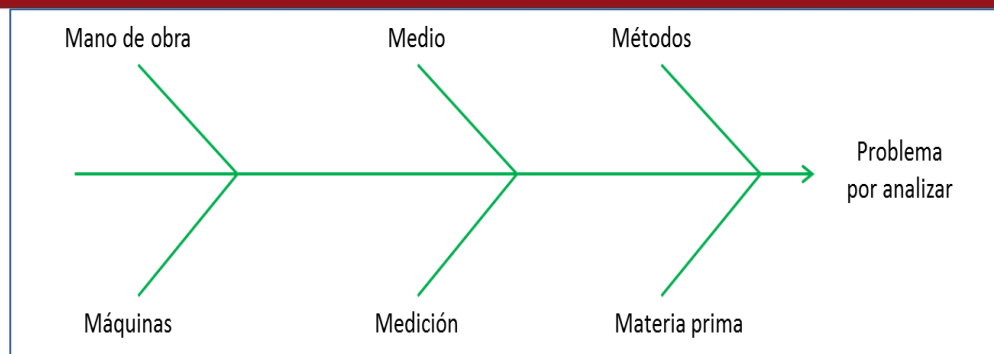
- Métodos: son los procedimientos que se llevan a cabo en el proceso productivo.
- Mano de obra: personal que realiza las actividades en la compañía.
- Materia prima: material necesario la fabricación del producto.
- Medición: herramientas para estimar el funcionamiento adecuado de los procesos
- Medio: las condiciones en el centro de trabajo.
- Maquinaria y equipo: dispositivos que permiten la elaboración del producto.

Su elaboración se basa en el proceso de generación de ideas por medio de tormenta de ideas, que puede realizarse de la siguiente manera:

- Cada miembro que pertenece al equipo de trabajo debe generar una idea en cada oportunidad que le corresponda de una manera ordenada y ágil. Paralelamente un integrante del equipo de trabajo debe cumplir el papel de secretario, con el fin de que pueda anotar las ideas que se van obteniendo.
- Una vez que ha finalizado el proceso de tormenta de ideas se debe suprimir ideas repetitivas.
- Se debe analizar si las ideas conseguidas hasta el momento están vinculadas al problema analizado.
- Se ordenan las ideas en el diagrama Ishikawa.

A continuación en el gráfico n° 9 se muestra el diagrama Ishikawa:



**Gráfico 9 Diagrama Espina de Pescado**

Elaboración Propia

Fuente: Escalante (2003:47)

### 1.6.3.2. Lluvia de ideas

Es un método que permite la obtención de un gran número de ideas por medio de la interrelación de un grupo de personas, (Escalante 2003:228). Con la utilización de esta técnica se obtienen ideas creativas y generadas en corto tiempo, diferentes enfoques ante una problemática, la estimulación del grupo de trabajo al sentirse incluidos en la búsqueda de problemas y posibles mejoras en el funcionamiento de la organización.

A continuación se explicará la secuencia de utilización:

- Examinar la problemática en discusión, para esto sería adecuado que el tema estudiado se encuentre en forma de interrogante (¿Por qué?, ¿Cómo?, ¿Qué?).
- Confirmar que todos los integrantes del grupo de trabajo conozcan el tema en estudio perfectamente.
- Proporcionar unos minutos de silencio para que los integrantes del grupo puedan reflexionar sobre la pregunta que se les realice.
- Incitar a que cada miembro del grupo, de forma ordenada, exprese su idea en voz alta. Es importante tener en cuenta que la idea proporcionada por la persona debe ser apuntada con las mismas palabras con que las expresa la persona por parte de un secretario del grupo. En este punto no se debe permitir discusión o argumentación.
- Continuar con el paso anterior hasta que se haya agotado totalmente las ideas por parte del grupo de trabajo, esto normalmente ocurre cuando se genera un silencio relativamente grande en el ambiente de trabajo.

- Finalmente se procede a explicar las ideas propuestas por los miembros del equipo, para descartar aquellas que sean consideradas como no viables por unanimidad.

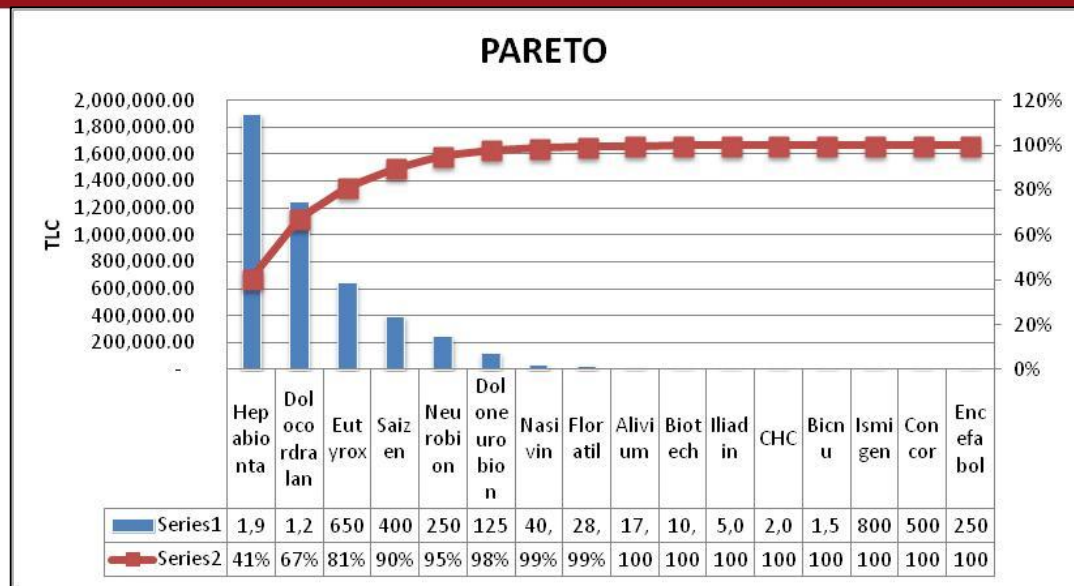
Es importante mencionar que la tormenta de ideas no proporciona de forma directa la respuesta al problema analizado, sino que busca obtener una lista amplia de ideas como punto inicial para un posterior análisis.

#### 1.6.3.3. Diagrama de Pareto

El diagrama de Pareto es una herramienta que se utiliza para poder identificar aquello que es vital en el tema de estudio. Este concepto es conocido también como la regla 80-20. Según Krajewski esta regla se interpreta de la siguiente manera: el 80 % de alguna actividad es causada por el 20 % de los factores que la componen (2008: pp 162 - 164). En otras palabras, existen unos pocos elementos que interpretan la mayoría de los efectos de una actividad. Es importante identificar esos pocos elementos que tienen la mayor influencia en el proceso, sistema, tarea, etc.

Para realizar un diagrama de Pareto, se debe seguir los siguientes pasos (Pyzdek 2003: 259):

- Determinar la clasificación (las categorías )
- Seleccionar un intervalo de tiempo para el análisis. El intervalo debe ser lo suficiente grande para ser representativo.
- Determinar el total de ocurrencias por cada categoría. Además, se debe calcular el total de todas las ocurrencias.
- Calcular el porcentaje de cada categoría dividiendo el total de ocurrencias por categoría entre el total de las ocurrencias.
- Hacer un ordenamiento de mayor a menor en número de ocurrencias.
- Calcular el porcentaje acumulado sumando el porcentaje de cada categoría.
- Hacer un cuadro que tenga dos ejes verticales. En el eje izquierdo se representan las ocurrencias y en el derecho el porcentaje acumulado.
- En el eje horizontal se dispondrán las categorías a evaluar.
- Las categorías que se encuentren más pegadas al lado izquierdo serán aquellas que representen el mayor porcentaje acumulado.

**Gráfico 10: Diagrama de Pareto**

Elaboración propia

En el gráfico n° 10 se observa que las tres primeras familias representan el 80 % de las ventas. Es decir, se cumple la regla 80-20 o ley Pareto.

#### 1.6.3.4. Análisis Modal Falla Efecto (AMFE)

Para ser competitivo, las empresas deben mejorar continuamente. El análisis modal de falla efecto es una herramienta que facilita el proceso de mejora (Breyfogle 2003: pp 360). Algunos de los objetivos del AMFE son:

- Satisfacción del cliente
- Introducir la Filosofía de Prevención
- Identificar los modos de fallo más relevantes
- Precisar medios de prevención por cada modo de fallo
- Tomar acciones correctivas y/o preventivas contra las causas de fallo.

Los pasos a seguir para realizar el AMFE son los siguientes:

- a) Describir el nombre del producto o componente
- b) Describir la operación o función
- c) Se describe el modo de fallo
- d) Se detalla el efecto del fallo
- e) Se asigna un valor de gravedad de fallo (S)
- f) Se especifica las causas del fallo
- g) Se asigna un valor de probabilidad de ocurrencia de fallo(O)
- h) Se especifica los controles actuales para detectar el fallo

- i) Se asigna el valor de probabilidad de no detección(D)
- j) Se calcula el valor Número de Prioridad de Riesgo ( $NPR = S \cdot O \cdot D$ )
- k) Se asigna una acción correctiva

#### 1.6.4. Herramientas de la Etapa Mejorar

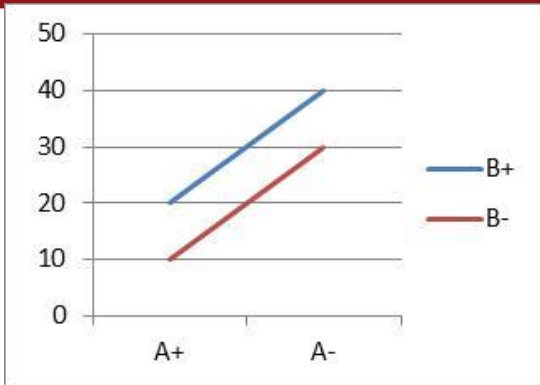
##### 1.6.4.1. Diseño de Experimentos (DOE)

Según Pyzdek la definición del DOE es un experimento donde uno o más factores, que presuntamente tienen un efecto en las salidas del experimento, son manipulados de acuerdo con un determinado plan. La información recolectada puede ser analizada estadísticamente para determinar el efecto de una variable independiente, o la combinación de dos o más de ellas (2003: 608).

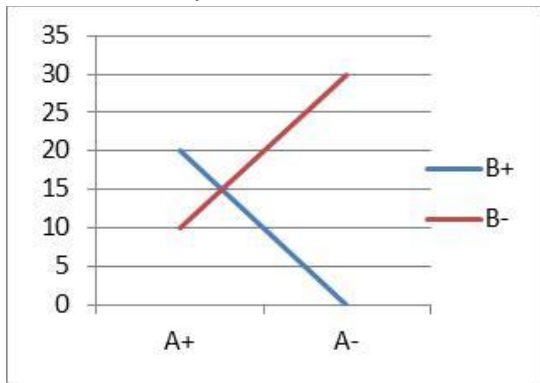
En el diseño de experimentos se usan los siguientes términos:

- Variable de respuesta (Response Variables)  
Es la variable que es investigada, también es llamada la variable dependiente.
- Variables Primarias (Primary Variables)  
Son las variables controlables, que se cree tienen efecto en el resultado del proceso. Pueden ser cualitativas o cuantitativas.
- Variables no controlables (Background Variables)  
Son variables identificadas por el diseñador del experimento y que pueden tener un efecto sobre el resultado; sin embargo, no pueden ser manipuladas deliberadamente o mantenidas de manera constante.
- Variables de Ruido (Noise Variable)  
En los experimentos donde intervengan muchos factores, se produce una potencial fuente de variación. Estas variaciones que no son consideradas explícitamente se les denominan variaciones de ruido y para que su efecto no contamine las variables primarias se utiliza la aleatoriedad.
- Interacciones (Interaction)  
Es una condición donde el efecto de un factor depende en el nivel de otro factor.

En la gráfica n° 11 se muestra un experimento factorial sin interacción y en la gráfica n° 12 se muestra un experimento con interacción.



**Gráfico 11 Experimento sin interacción**  
Fuente: Montgomery (2003:580)  
Elaboración Propia



**Gráfico 12 Experimento con interacción**  
Fuente: Montgomery (2003:580)  
Elaboración Propia

De acuerdo con Montgomery el diseño de experimentos está vinculado a los métodos de control estadístico. Por ejemplo, podemos tener un proceso que se encuentre bajo control estadístico y sin embargo tenga un bajo índice de capacidad del proceso. En este caso, se puede aplicar una serie de pruebas haciendo variar las entradas del proceso y observar los cambios correspondientes en la salida, la cual producirá información que servirá para la mejora del proceso. Asimismo, se puede usar el método para identificar los factores principales que influyen en el proceso y hacer un control en esos factores (2006: pp 572).

1.6.4.2. Diseño factorial 2k

Según Montgomery el diseño factorial  $2^k$  es un diseño con K factores y dos niveles cada uno. Esto conduce a que se obtenga  $2^k$  corridas por cada réplica del diseño (2006: 591).

En el diseño factorial se requieren  $2^k$  condiciones experimentales y se utiliza una nomenclatura especial. Por ejemplo, si se utilizan 3 factores, nos encontramos en un diseño con  $2^3$  condiciones experimentales como se representan en la tabla nº 3.

**Tabla 3: Condiciones Experimentales**

Condición Experimental	Nivel del Factor		
	A	B	C
1	-1	-1	-1
a	+1	-1	-1
b	-1	+1	-1
ab	+1	+1	-1
c	-1	-1	+1
ac	+1	-1	+1
bc	-1	+1	+1
abc	+1	+1	+1

Fuente: Montgomery (2003: 593)  
Elaboración propia

La condición experimental se interpreta de la siguiente manera:

Si una letra está presente, entonces el factor correspondiente está en el nivel alto en esa corrida. Por ejemplo, para la condición experimental “a” sólo el Factor A se encuentra en el nivel alto y los demás factores se encuentran en el nivel bajo. La condición experimental (1) significa que todos los factores se corren en su nivel más bajo.

El modelo experimental es de la siguiente forma:

$$Y = \mu + A + B + C + AB + AC + BC + ABC + \epsilon$$

Donde,  $\mu$  es una media global,  $\epsilon$  es el error aleatorio con una distribución  $NID(0, \sigma^2)$ . Luego se procede a calcular los efectos de cada factor y de las interacciones de la siguiente manera:

En primer lugar se calcula el efecto de los factores principales:

$$A = Y_{A^+} - Y_{A^-} = \frac{1}{4n} * [a + ab + ac + abc - b - c - bc - (1)]$$

$$B = Y_{B^+} - Y_{B^-} = \frac{1}{4n} * [b + ab + bc + abc - a - c - ac - (1)]$$

$$C = Y_{C^+} - Y_{C^-} = \frac{1}{4n} * [c + ac + bc + abc - a - b - ab - (1)]$$

Luego se calcula el efecto de los factores de Interacción.

$$AB = 4 \frac{1}{2n} * [ab + (1) + abc + c - b - a - bc - ac]$$

$$AC = \frac{1}{4n} * [ac + (1) + abc + b - a - c - ab - bc]$$

$$BC = \frac{1}{4n} * [bc + (1) + abc + a - b - c - ab - ac]$$

$$ABC = \frac{1}{4n} * [abc - bc - ac + c - ab + b + a - (1)]$$

Para generalizar, se utiliza la siguiente fórmula:

$$Efecto = \frac{Contraste}{n2^{K-1}}$$

Para calcular la suma de cuadrados de cualquier efecto se usa la siguiente fórmula:

$$SS = \frac{(Contraste)^2}{n2^k}$$



Además, se calcula los coeficientes de la ecuación de regresión de la siguiente manera:

$$\text{Coeficiente} = \frac{\text{Efecto}}{2}$$

Para poder analizar la relevancia de los factores se utiliza un análisis de varianzas, en este análisis se detectan aquellos factores que influyen en la variable de respuesta. A continuación se muestra un ejemplo de un análisis de varianza en la tabla nº 4:

**Tabla 4 Análisis de Varianza**

ANOVA					
	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Grados de Libertad</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>F</i>	<i>P-Value</i>
A	45.5625	1	45.5625	18.69230769	0.00254
B	10.5625	1	10.5625	4.333333333	0.07
C	3.0625	1	3.0625	1.256410256	0.29
AB	7.5625	1	7.5625	3.102564103	0.12
AC	0.0625	1	0.0625	0.025641026	0.88
BC	1.5625	1	1.5625	0.641025641	0.45
ABC	5.5625	1	5.5625	2.282051282	0.19
Error	19.5	8	2.4375		
Total	92.9375	15			

Fuente: Montgomery (2006: 604 pp.)

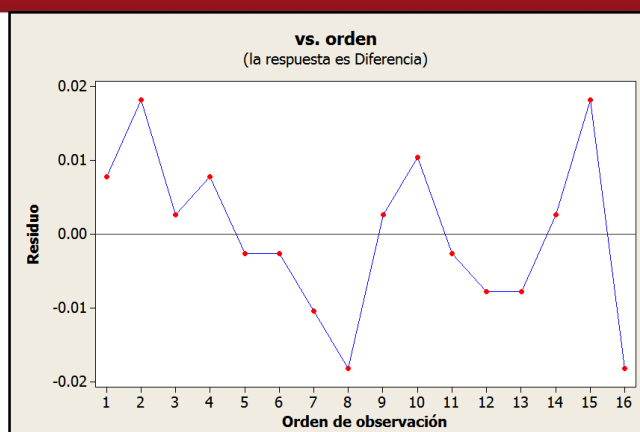
Elaboración propia

En la tabla ANOVA se analizan los p-value de los factores. Para poder interpretar el significado de estos p-value se debe plantear la siguiente hipótesis:

- $H_0$  = El factor no influyen en la variable de respuesta
- $H_1$  = no se cumple  $H_0$  (El factor sí influye)

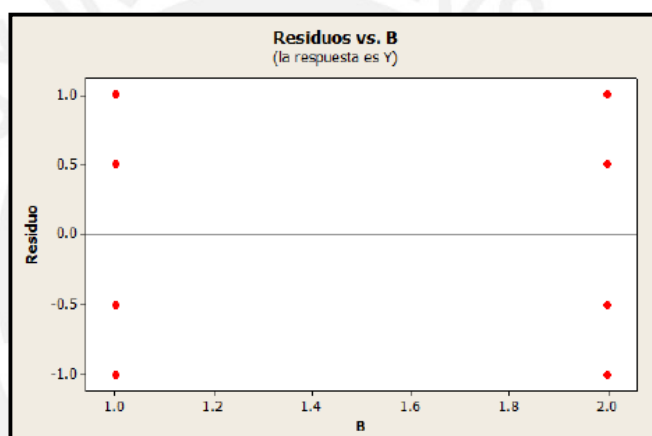
Para aceptar  $H_0$  se debe cumplir que el p-value sea mayor a 0.05. Según el ejemplo en la tabla nº 4 el factor A es el relevante pues el p-value es menor a 0.05. Luego del análisis ANOVA se debe efectuar un análisis de residuales. Según Montgomery los residuales son la diferencia entre el valor observado y el valor predicho por la ecuación de regresión (2006: 607 pp.). Estas diferencias deben cumplir tres condiciones:

- Análisis de aleatoriedad: los residuales no deben presentar patrones de comportamiento. En el gráfico nº 13 se muestra un análisis de aleatoriedad.



**Gráfico 13 Análisis de aleatoriedad**  
Elaboración propia

- Análisis de variabilidad: varianza constante de residuales.

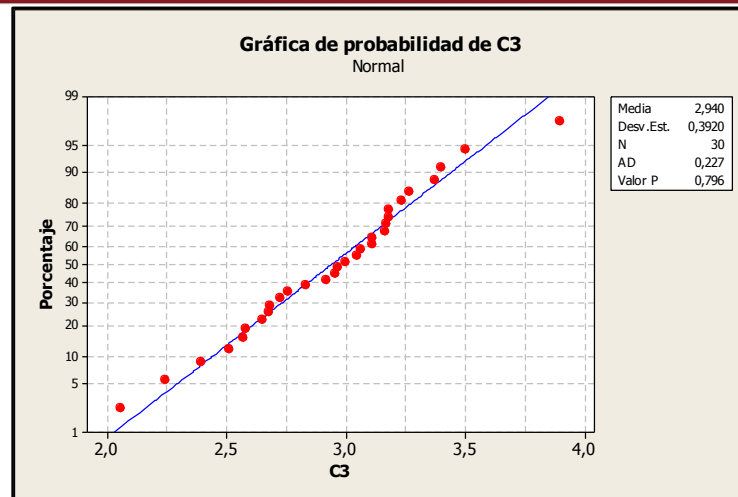


**Gráfico 14: Análisis de variabilidad**  
Elaboración propia

El gráfico nº 14 muestra un análisis de variabilidad en la que no existen valores espurios.

- Análisis de normalidad: los residuales deben presentar normalidad.

El gráfico nº 15 muestra un análisis de normalidad en el que se muestra que se cumple la normalidad de los datos según el p-value (Mayor a 0.05).



**Gráfico 15: Análisis de normalidad**  
Elaboración Propia

#### 1.6.4.3. Poka Yoke

Es una técnica que busca evitar los errores humanos en el centro de trabajo por medio de tres funciones básicas: paradas, control y aviso; para ello se centra en dos posibles escenarios: (1) Predecir la ocurrencia de posibles defectos o fallas y (2) Detectar o revelar la ocurrencia de alguna falla. Detrás de este método se guarda el concepto de alcanzar en lo posible la meta de cero defectos utilizando conceptos simples y poco costosos. (Kogyo 1991: xi-16)

De acuerdo a Kogyo “Los mecanismos Poka Yoke nos ayudan a evitar defectos, incluso aunque inadvertidamente se cometan errores. Los Poka Yoke ayudan a fabricar calidad en el proceso” (1991:15).

#### 1.6.4.4. 5'S

De acuerdo con Breyfogle esta metodología una vez implementada busca la mejora continua y estandarización de las actividades (2003:872). Para su implementación se deben seguir de forma correlativa los siguientes pasos

- I. Seiri (seleccionar): se seleccionan aquellas herramientas y materiales necesarios de aquellos que no lo son.
- II. Seiton (organizar): se organizan los elementos previamente identificados con la finalidad que cada uno de los ítems tenga un lugar conocido, permitiendo así su fácil identificación y acceso.
- III. Seiso (limpiar): se ejecuta la limpieza del área de trabajo de forma permanente. Esta limpieza involucra la limpieza de máquinas, instalaciones y equipo involucrado en el área.

- IV. Seiketsu (estandarizar): se implementan lineamientos para mantener un área de trabajo limpia, ordenada y agradable para los trabajadores. Pueden utilizarse procedimientos y plantear normas sencillas que permitan recordar el concepto de orden y limpieza.
- V. Shitsuke (seguimiento): se realiza un seguimiento de los cuatro pasos antes descritos con la finalidad de incentivar un hábito en la conducta del trabajador y su constante participación.

#### 1.6.5. Herramientas de la Etapa Controlar

##### 1.6.5.1. Cartas de Control por Variables

De acuerdo con Montgomery existen características de la calidad que pueden ser representadas en valores numéricos. A estas características particulares de la calidad se les denomina variables. Cabe indicar que al ser características de la calidad que pueden variar, se les debe monitorear constantemente con el fin de asegurar el control del proceso analizado (2006: 207 pp). Para este control se utiliza gráficos de control por variables que pueden ser:

- Carta de control para la media ( $\bar{X}$ ): permite controlar el promedio del proceso o nivel promedio de calidad en la característica analizada.
- Carta de control para el rango (R): permite monitorear la variabilidad del proceso en estudio.

Ambos tipos de cartas antes descritas deben trabajarse de manera separada con la finalidad de poder analizar ambos valores y tomar las decisiones convenientes para el proceso.

A continuación se presenta la manera de determinar los límites de control para la carta  $\bar{X}$  :

$$UCL = \bar{\bar{x}} + A_2 \bar{R}$$

$$\text{Límite Central: } \bar{\bar{x}}$$

$$LCL = \bar{\bar{x}} - A_2 \bar{R}$$

Los valores para  $A_2$  son calculados por medio de tablas mostradas en el Anexo 01.

Para el caso controlar la variabilidad del proceso (Carta R) los límites se calculan de la siguiente manera:

$$UCL = D_4 \bar{R}$$

Límite Central:  $\bar{R}$

$$UCL = D_3 \bar{R}$$

Los valores para  $D_3$  y  $D_4$  se obtienen por medio de tablas mostradas en el Anexo 01.



## CAPÍTULO 2: La Empresa

En este capítulo se describe la organización en la cual se desarrolla el estudio. Para esto, se realiza una descripción de la empresa, se detalla las entidades participantes del negocio, se describe su infraestructura, maquinaria y equipos, materia prima e insumos, recursos humanos. Además, se listan los productos elaborados por la empresa, se describe la forma en que la empresa realiza el control de calidad a sus productos. Finalmente se realiza una descripción de la problemática general de la empresa y una selección del proceso crítico, por medio de una matriz de priorización, sobre el cual se desarrollará la metodología DMAIC.

### 2.1. La Organización

La empresa en estudio pertenece al sector textil y se dedica principalmente a la confección de prendas de vestir para damas y caballeros de todas las edades. Cuenta con más de 23 años en el medio, periodo que le ha permitido consolidarse como una de las empresas líderes en su rubro según las cifras manejadas por la Asociación de Exportadores (ADEX).

La empresa cuenta con dos plantas, una que se ubica en Los Olivos y se encarga del desarrollo de las telas de acuerdo con el requerimiento de las órdenes de pedido y especificaciones por parte de los clientes. Por otro lado, la segunda planta ubicada en el distrito de Puente Piedra y donde se realizará el estudio, recibe las telas ya desarrolladas por la primera planta mencionada y realiza la confección de prendas de vestir.

### 2.2. Entidades participantes en el modelo del negocio

#### 2.2.1. Clientes

Son aquellas empresas u organizaciones que contratan el servicio de confección de prendas de vestir de acuerdo con sus especificaciones y requerimientos. Es preciso indicar que la empresa no solo atiende a clientes en el medio nacional, sino que también atiende requerimientos del mercado internacional como Italia, Francia, China, Japón y EE.UU.

#### 2.2.2. Proveedores

Son aquellas entidades que abastecen a la empresa de requerimientos de material, insumos y servicios en el momento apropiado, con el fin de que el desempeño sea adecuado y eficiente.



### 2.2.3. Competidores

Son aquellas empresas que ofrecen el servicio de confección de prendas de vestir para damas y caballeros de todas las edades en el medio nacional e internacional. Entre los competidores se puede encontrar a las siguientes empresas:

- Confecciones Textimax S.A.
- Topy Top S.A.
- Industrias Nettalco S.A.
- Cotton Knit S.A.C.
- Corporación texpop S.A.
- Jean Export Corporation S.A.C.
- Corporation fabril de confecciones S.A.
- Devanlay Perú S.A.
- Samitex S.A.
- Industrias Full Cotton
- Textiles San Sebastian
- Industria Textil del Pacífico
- Entre otras

Es preciso indicar, según cifras manejadas por ADEX, que algunas de las empresas antes listadas se ubican en posiciones muy importantes en el ranking de exportadores.

## 2.3. Instalaciones y medios operativos

### 2.3.1. Planta o fábrica

La planta textil se encuentra ubicada en el distrito de Puente Piedra y está construida con material noble y tiene una extensión aproximada de  $7530 m^2$ . Es preciso indicar que la planta se divide en:

- Área de almacenaje de materia prima: en esta área se reciben y almacenan los insumos tales como telas, hilos y demás insumos necesarios para la confección de las prendas a realizar. Luego el área de almacenaje repartirá los materiales que soliciten las demás áreas de la empresa de acuerdo con sus requerimientos
- Área de ingeniería: en este departamento se realizan los nuevos diseños de las prendas e innovaciones que serán desarrollados posteriormente por la empresa.
- Área de corte: en esta sección se realiza el corte de las telas de acuerdo con las especificaciones dadas por el cliente y el diseño del polo a realizar.
- Área de costura: en esta área se unen las piezas que llegan del área de corte.

- Área de acabado y empaquetado: en esta zona se realiza una inspección minuciosa de las prendas que llegan del área de costura, luego de pasar por la inspección se plancha la pieza y se empaqueta según corresponda, de acuerdo con las especificaciones del cliente.
- Área de bordado: esta es una sección nueva en la empresa (en proceso de implementación) que realiza el bordado de los logos dentro de la empresa sin tener que esperar a estos lleguen como insumo desde un tercero, buscando disminuir los tiempos de espera en el abastecimiento de estos distintivos de las prendas.
- Área de almacenaje de órdenes de pedido: en esta área se almacenan las órdenes de pedido con la finalidad de que luego sean entregadas al cliente, y estos puedan retirar su producto de los almacenes de la empresa.
- Área administrativa: en esta zona se encuentra el personal administrativo de distintas áreas como seguridad, recursos humanos, etc.
- Comedores: en esta zona se les brinda el desayuno, almuerzo y cena a los colaboradores de la empresa que trabajan en los distintos turnos de trabajo.

En el anexo 02 se muestra un layout de distribución de planta y las áreas antes mencionadas

### 2.3.2. Tipo de distribución

La planta tiene un tipo de distribución por proceso, ya que han ubicado sus centros de trabajo según la función desempeñada por cada uno de estos. Según Muther la distribución por proceso es aquella en que las operaciones del mismo proceso están agrupadas (1977: 25 pp). La distribución de las áreas de producción más representativas de la empresa que son corte, costura, el área de acabado y empaquetado se encuentran en los anexos 03, 04 y 05 respectivamente.

## 2.4. Maquinaria y equipos

A continuación se describirán las principales máquinas y equipos por cada área.

### 2.4.1. Máquinas en el Área de almacenaje

- Montacargas: la empresa cuenta con tres montacargas para poder almacenar los fardos de telas que llegan al almacén.
- Patos de carga: la empresa tiene diez patos de carga para transportar los fardos en bloques hacia el área que se requiere dentro de la empresa.

#### 2.4.2. Máquinas y Herramientas en el Área de corte

- Mesa de tendido: la empresa cuenta con 5 mesas de tendido las cuales tienen un largo de 20.5 metros y 1.5 m de ancho. En estas mesas la tela es extendida y cortada con los diseños de plantillas.
- Cortadora vertical: seis máquinas herramienta de uso personal que permite realizar el corte de la tela (desde el bloqueo hasta el corte final). Cuenta con una cuchilla que se mueve de forma vertical a una velocidad establecida.
- Máquina cintera: cuatro máquinas herramienta de uso personal que permite realizar el corte de piezas pequeñas, permitiéndole tener un buen acabado y grado de detalle. Su funcionamiento es a una velocidad única.
- Máquina fusionadora: máquina que permite fusionar, por medio del calor, la tela con una entretela. Esta máquina tiene la opción de calibrar la temperatura deseada, según el tipo de tela que se trabaje.
- Máquina collaretera: tres máquinas que permiten hacer las collaretas (pieza para reforzar la costura de la prenda). Por medio de las cuchillas con las que cuenta corta la tela produciendo y envolviendo las collaretas.
- Máquina remalladora: cuenta con dos máquinas que permiten hacer el refilado a los rectilíneos (pieza que se ubica en las mangas, cuello o puños del polo).
- Máquina enumeradora: cuenta con seis máquinas que permite enumerar las piezas de forma correlativa, con la finalidad de facilitar su identificación y empaquetado.

#### 2.4.3. Máquinas en el Área de costura

- Máquinas rectas: esta máquina sirve para la unión de las partes de la prenda. La empresa cuenta en total con 360 máquinas distribuidas en el área de costura.
- Máquinas remalladoras: esta máquina sirve para hacer el acabado a las prendas. La empresa cuenta con un total de 220 máquinas distribuidas en el área de costura.

#### 2.4.4. Máquinas en el Área de bordado

- Máquina bordadora: la empresa cuenta con una máquina industrial de control numérico para el bordado de las prendas.
- Máquinas tipo pulpo: estas máquinas sirven para el proceso de serigrafía de las prendas.

#### 2.4.5. Máquinas en el Acabado y empaquetado

- Soplete a presión de aire: retira los restos de hilos o tela de las prendas.
- Máquina de planchado: permite realizar un planchado de las prendas a vapor.

- Detector de metales: esta máquina detecta agujas o cualquier metal que pueda quedar en la prenda.

## 2.5. Materia prima e insumos

### 2.5.1. Materia prima

A continuación se indicará la materia prima más importante que se utiliza para la confección de prendas de vestir.

- Tela: este tejido llega a la planta de acuerdo con el requerimiento del área de planeamiento y producción, y es la base de cualquier confección. Es importante recalcar que la empresa desarrolla su propia variedad de paño dependiendo del requerimiento del cliente. Esta tela es suministrada por la planta encargada de la confección de telas, ubicada en el distrito de Los Olivos.

### 2.5.2. Insumos

A continuación se describe los insumos utilizados por la empresa en su proceso de confección.

- Etiquetas impresas: es el sello que lleva la talla, recomendaciones del lavado y mantenimiento de la prenda de vestir.
- Etiquetas bordadas: es el distintivo de la marca y aquella que se une a la prenda.
- Cierres: es el insumo también conocido como cremallera que permite la unión de dos partes de la prenda.
- Botones: estos pueden ser metálicos o plásticos y su obtención también se acuerda con los clientes, ya que estos insumos pueden contener una especificación requerida por estos.
- Hilos: son aquellas hebras de diferente grosor que permitirán la unión de los distintos componentes de la prenda confeccionada (materia prima y los insumos).
- Bolsas de plástico: este material permite que las prendas puedan ser empaquetadas adecuadamente y evitar cualquier maltrato o deterioro de la prenda elaborada.
- Colgadores: su utilización depende del pedido que realice el cliente y permite que la prenda pueda ser colgada y empaquetada de una manera particular.
- Cajas de cartón: esta permite que la prenda terminada pueda ser almacenada de tal manera que no se estropee la pieza y sea de manejo más fácil para el transporte.
- Bencina: es un líquido incoloro que cumple la función de disolvente permitiendo retirar manchas pequeñas que pueda tener la tela trabajada.

## 2.6. Recursos Humanos

La empresa cuenta aproximadamente con 995 trabajadores en su planta de Puente Piedra. De los cuales 25 dedican su tiempo a labores administrativas mientras que 970 colaboradores son destinados para el área de producción. La empresa labora de acuerdo con la siguiente especificación:

- Área de producción: de lunes a sábado en 03 turnos al día, cada uno de 8 horas diarias. A continuación se indica el horario del personal de producción:
  - Primer turno: de 7:00 a.m. – 3:00 p.m.
  - Segundo turno: de 3:00 p.m. – 11:00 p.m.
  - Tercer turno: de 11:00 p.m. – 7:00 a.m.
- Área administrativa: de lunes a sábado un solo turno de 8 horas diarias que empiezan a las 9:00 a.m. hasta las 6:00 p.m.

(\*) Cada turno de trabajo tiene un horario para refrigerio de 45 minutos.

## 2.7. El producto

### 2.7.1. Tipos de producto

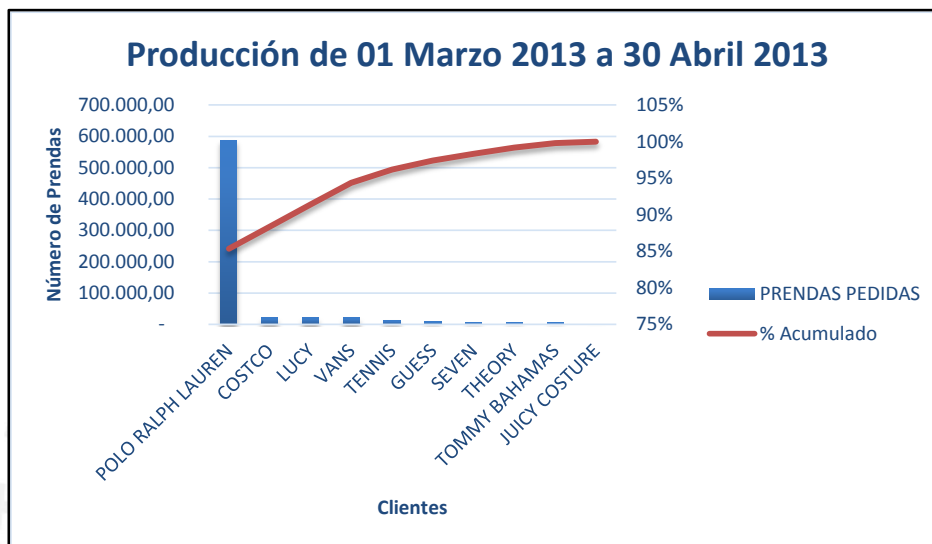
Los productos desarrollados por la empresa son a medida y requerimiento del cliente, estos son prendas de vestir tanto para el público masculino como para el femenino de diversas edades. A continuación se presenta una lista de los productos elaborados por la empresa:

- Polo para bebé
- Polo Piqué Box
- Bebecrece
- Conjunto para bebé
- Tank para damas
- Vestido para niñas
- Vestido para damas
- Blusa para damas
- Pantalón para damas
- Pantalón para niñas
- Casaca para damas
- Suéter para damas
- Suéter para caballeros

- Short para niños
- Short para hombres

### 2.7.2. Proceso productivo de los principales productos

De todos los productos antes listados, se explicará el caso del polo piqué Box (Ralph Lauren), ya que es el producto que representa más del 85 % de la producción como se puede observar en el gráfico n° 16.



**Gráfico 16 Diagrama Pareto de Producción por Clientes (marzo-abril 2013)**

Fuente: La Empresa

Elaboración Propia

Para su elaboración se sigue la siguiente secuencia:

- Se recibe la materia prima en los almacenes de acuerdo con los requerimientos realizados por el área de planeamiento y producción, dichos materiales recibidos son distribuidos a las áreas donde se requiere dicho material.
- En primera instancia el área de corte recibe las telas y realiza el procedimiento de corte de acuerdo con las especificaciones que determina el área de ingeniería (mediante moldes y especificaciones técnicas). En esta parte del proceso se obtienen todas las piezas necesarias para la elaboración de un polo. Es decir, mangas, cuellos, pecheras y cuerpo del polo; luego, se almacenan en un depósito (ordenados por orden de pedido), para que sean enviadas posteriormente al área de costura.
- En el área de costura se unen las partes del polo. Es importante mencionar que en esta parte se insertan tanto las etiquetas, logo, así como el cuello que previamente han sido preparados para su posterior ensamble.



- Posteriormente se envían los polos ya cosidos hacia el área de acabado y empaquetado, en esta sección se realiza una inspección de cada prenda, en una máquina detectora de metales, para asegurar la ausencia de cualquier material metálico, y se comprueba que cada una de estas prendas cumpla con los estándares establecidos por el cliente. Luego de la inspección se plancha y empaqueta las prendas de acuerdo con los requerimientos establecidos.
- Finalmente, se realiza el almacenamiento de las órdenes de trabajo en el almacén respectivo para que el cliente pueda recoger su producto terminado y retirarlo de la empresa.

En el anexo 06 se muestra el DOP para el polo Box Pique Ralph Lauren.

## 2.8. Control de calidad

De acuerdo con la política de la empresa el control de calidad se realiza continuamente en el proceso productivo. Es decir, en las áreas de corte, costura, acabado y empaquetado se efectúan inspecciones al producto, con la finalidad de evitar reprocesos y en consecuencia mayores costos de producción.

Hay tres métodos para realizar el control de calidad en la empresa las cuales son:

- Método por muestreo: utilizado en el área de corte y de costura, es de forma visual, para ello se asignan a los colaboradores más experimentados, ya que son ellos los que conocen las fallas más recurrentes en el proceso productivo. Para esto, utilizan un muestreo de las piezas (en el área de corte), prendas (en el área de costura) siguiendo la norma técnica Peruana NT-ISO 2859 para ambos casos. Se utiliza un muestreo simple con inspección normal. La información que obtienen del muestreo lo detallan en una hoja de auditoría que se muestra en el anexo 07. Para el caso de las piezas cortadas se realizan mediciones para detectar diferencias con respecto a los moldes. Las mediciones son realizadas con un centímetro como herramienta y se registran las diferencias en medidas en el formato “Hoja de especificaciones” que se muestra en el anexo 08.
- Método inspección al 100%: utilizado en el área de acabado y empaquetado, donde las prendas son inspeccionadas en su totalidad por los operarios expertos designados.
- Inspección de metales: utilizado en el área de acabado y empaquetado, se realiza con una máquina detectora de metales. Este procedimiento tiene como objetivo detectar la presencia de cualquier metal (aguja rota o pedazos de algún metal) que pueda ser perjudicial para el usuario final. Es preciso tener en cuenta que

esta operación se realiza sólo en las áreas de Habilitado y Empaquetado previo al despacho y es complementario al método de inspección al 100%.

## 2.9. Problemática actual

Según la asociación de exportadores (ADEX)<sup>4</sup> en el 2012, la empresa en estudio fue la sexta empresa textil con más exportaciones realizadas, alcanzando un incremento aproximado del 15 % respecto al año anterior, siendo sus principales destinos países como EE.UU, Italia, Hong Kong Colombia, Japón, Corea del Sur y México. A pesar de esto, la empresa presenta algunos problemas durante sus procesos productivos.

Para identificar los problemas se realizó una reunión con un representante del área de calidad de corte, uno de calidad de costura y un analista del área de acabado y habilitado quienes dieron sus puntos de vista sobre los problemas comunes que ocurren durante el proceso productivo. A continuación, se muestra los resultados:

1. Errores en el tendido de tela, debido a las particularidades de la tela y/o error por parte de los operarios al momento de su tendido, causando prendas disparejas (proceso de corte).
2. Colocar muchos paños de tela al momento de realizar el corte ocasionando que no exista uniformidad de la totalidad de las piezas obtenidas (proceso de corte).
3. Error por parte de los operarios al momento de la utilización de los moldes en el momento de realizar el corte (proceso de corte).
4. Falla del método de corte, ocasionando que las prendas no sean uniformes entre sí (proceso de corte).
5. Paralización del área de corte por problemas de abastecimiento de telas u otros insumos requeridos por el área (proceso de planeamiento).
6. Devolución de prendas al área de corte por parte del área de costura al encontrar defectos en las piezas cortadas (proceso de corte).
7. Defectos al momento de realizar la basta o costura de algún componente del polo, ocasionando reproceso en el área de costura (proceso de costura).
8. La identificación de productos en proceso que contienen errores y que deben ser reprocesados (proceso de acabado).
9. Mala organización de los productos terminados en los almacenes que provocan mayor manipulación del material. No se observa un criterio de ubicación como

---

<sup>4</sup> DIARIO GESTIÓN, 2012, "Estas son las empresas de confecciones con más envíos al exterior", Lima 01 Abril 2012, Consulta: 10 Abril 2013 < <http://gestion.pe/noticia/1395674/estas-son-empresas-confecciones-mas-envios-al-exterior> >

por ejemplo, utilizar la clasificación A, B, C de los productos (proceso de almacenamiento).

Luego de haber listado los problemas más frecuentes, se realizó una matriz de priorización (Ver Tabla nº 6) en la que se enfrenta todas las problemáticas descritas, ponderándolas en función de cinco criterios (Producción, Calidad, Costo, Tiempo de entrega y Seguridad) que la empresa considera relevantes.

La puntuación utilizada se muestra en la tabla nº 5. Para determinar el peso asignado a cada criterio se utilizó una matriz de enfrentamiento que se muestra en el anexo 09. Esta matriz fue elaborada junto a los representantes de las áreas involucradas. De acuerdo con los resultados obtenidos en la matriz de priorización, los problemas más críticos son: errores en tendido de tela (1), colocar muchos paños de tela (2), falla del método de corte (4) y devolución de prendas al área de corte(6) perteneciendo todos estos al proceso de corte.

**Tabla 5 Puntuación de Matriz de Priorización de Problemas**

Valor	Descripción
1	No existe relación con el criterio
2	Existe poca relación con el criterio
3	Existe una relación moderada con el criterio
4	Hay un alto grado de relación con el criterio

Elaboración Propia

**Tabla 6 Matriz de Priorización de Problemas en la Empresa**

N°	Descripción	Proceso	Criterios					NP
			Producción	Calidad de Prenda	Costo	Tiempo de entrega	Seguridad y Medio Ambiente	
			20%	30%	15%	15%	20%	
1	Devolución de prendas al área de corte	Corte	4	4	4	4	1	3.4
2	Errores en el tendido de tela	Corte	4	4	3	4	1	3.25
3	Falla del método de corte	Corte	4	4	4	3	1	3.25
4	Colocar muchos paños de tela	Corte	4	4	3	2	1	2.95
5	Error en utilización de moldes	Corte	3	4	3	3	1	2.9
6	Detección de productos con errores	Calidad	2	4	3	2	1	2.55
7	Problemas de abastecimiento	Planeamiento	3	2	3	3	1	2.3
8	Errores en basta o costura de prendas	Costura	2	3	2	1	1	1.95
9	Mala organización de producto terminado	Almacén	1	1	2	2	3	1.7

Elaboración Propia

En conclusión, se determina que el proceso crítico de la empresa es el de corte, al cual se le aplicará el proyecto de mejora basado en la metodología DMAIC.

## CAPÍTULO 3: Aplicación de la metodología DMAIC a la problemática actual

Según el resultado de la matriz de priorización (Ver tabla nº 6) presentada en el capítulo 2, se determinó que el proceso crítico es el de corte. En este capítulo se le aplicará la metodología DMAIC a este proceso crítico.

Primero se identificará los principales problemas del proceso de corte relacionados al producto Polo Box Ralph Lauren, ya que en el capítulo 2.7.2 se mostró que es el más representativo para la empresa. Luego, se realizará la medición del proceso; seguidamente, se analizará los resultados de la medición. Posteriormente, con base en el análisis a efectuar se plantearán las mejoras y finalmente se propondrá el control de las propuestas de mejora.

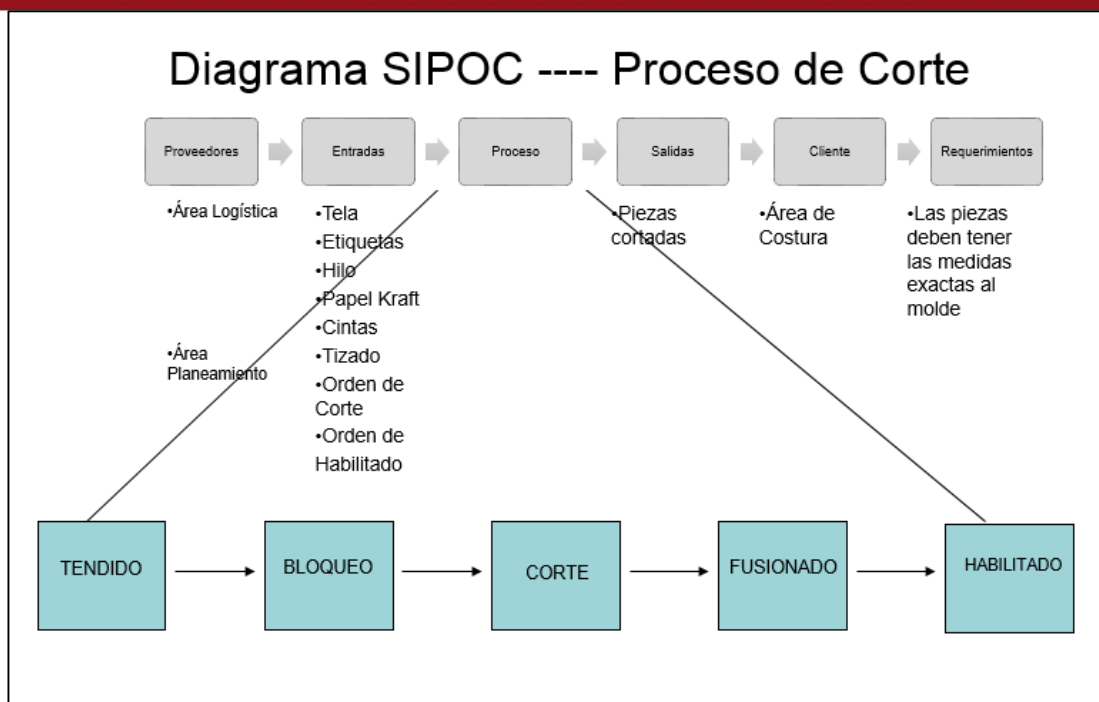
Además, se ha establecido un cronograma de actividades para las diferentes etapas del proyecto que se encuentra en el anexo 10: Cronograma del plan de acción DMAIC.

### 3.1 Etapa Definir

En este capítulo se describe el proceso de corte y se identifica la voz del cliente (Para el caso en estudio el cliente es el área de Costura). Seguidamente, se identifican los problemas más frecuentes que se encuentran en el proceso de corte, los cuales son priorizados mediante un Diagrama de Pareto. Finalmente, se identifica el principal problema del proceso.

#### 3.1.1 Proceso de Corte

Para describir el proceso de corte se utilizó el diagrama de alto nivel SIPOC (Ver gráfico nº 17), con el cual se da una visión general del proceso, identificando a los proveedores, insumos o entradas, los subprocesos relevantes, las salidas, los clientes y sus requerimientos. En este diagrama se identificó que el área de logística, suministra los fardos de tela, etiquetas, hilos, y otros insumos que requiera el proceso. Además, el área de planeamiento, suministra el tizado (moldes para el corte), la orden de corte que indica el detalle de las piezas a cortar y la orden de producción correspondiente. El resultado del proceso son las piezas cortadas que son enviadas hacia el proceso de costura (cliente interno).

**Gráfico 17 Diagrama SIPOC – Proceso de Corte**

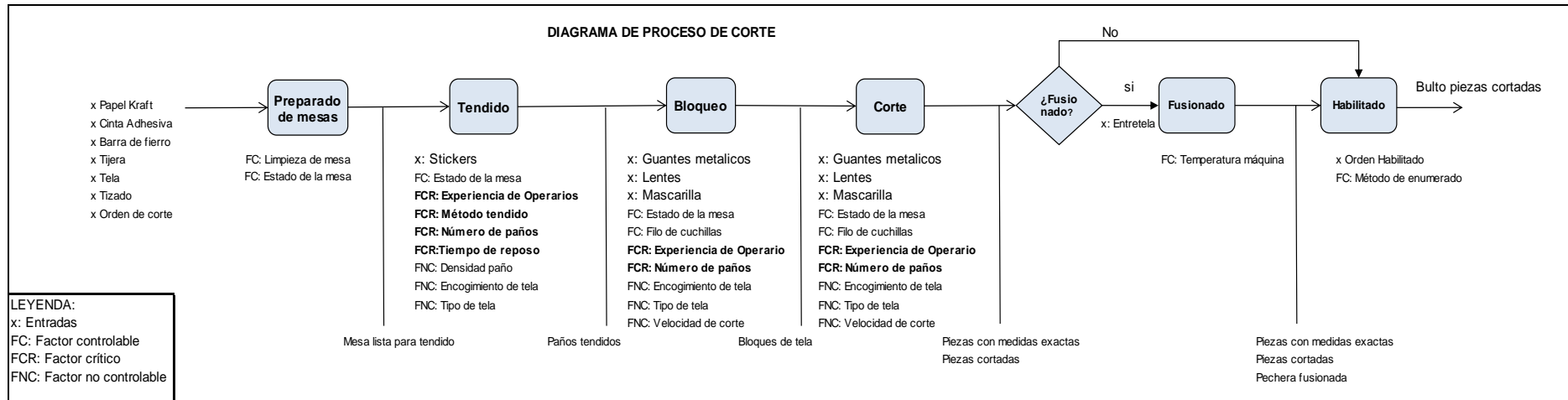
Elaboración Propia

Además, se utilizó un Diagrama de Procesos para detallar más el proceso en cuanto a las entradas, los factores críticos, controlables y no controlables. En el gráfico n° 18 se observa el Diagrama de Procesos de Corte en donde se detalla las operaciones principales, las cuáles son: preparado de mesa, tendido, bloqueo, corte, fusionado y habilitado; y que serán descritas a continuación:

**Preparado de mesa:** consiste en acondicionar las mesas con diferentes materiales como papel kraft, cinta adhesiva, molde de tizado y otros implementos, con el fin de realizar posteriormente el tendido adecuado de la tela.

**Tendido:** permite colocar los paños de tela en la mesa previamente preparada a fin de realizar el corte respectivo, en caso se encuentre fallas en la tela se les identifica con sticker.

**Bloqueo:** consiste en realizar un primer corte de los paños de tela tendidos dejando una holgura con respecto a las medidas del molde. Esto se realiza para tener una mayor facilidad en el manejo de las piezas durante el corte.



**Gráfico 18 Diagrama de Proceso de Corte**  
Elaboración Propia



Corte: permite realizar el corte final y más preciso según los requerimientos de medida que tenga la pieza trabajada.

Fusionado: permite la unión, mediante el uso de alta temperatura, de una pieza con una entretela (o también llamado pelón). Este procedimiento no se realiza para todas las piezas. Comúnmente se realiza para los bolsillos de los polos, en la que se fusiona la tela piqué (tela gruesa) con una entretela (tela delgada) a fin que la pieza tenga mayor consistencia. Este paso se ejecuta de forma similar para los cuellos del polo y pecheras.

Habilitado: este último paso consiste en la numeración de las piezas, previamente cortadas, y la formación de paquetes para su posterior traslado al área de costura.

Además, en el Diagrama de Proceso se identificó los insumos de entrada (X), los factores controlables (FC), los factores críticos (FCR) y los factores no controlables del proceso (FNC), según los especialistas del área de corte. El análisis de clasificación de estos factores se encuentra en el anexo 11. A continuación se describen las entradas y los factores del Diagrama de Proceso.

#### Entradas:

- Los insumos de entrada, utilizados a lo largo del proceso de corte, son el papel kraft, cinta adhesiva, barra de fierro, tijera, tela, tizado, la orden de corte, stickers, guantes metálicos, mascarillas y lentes de protección.
- Entretela: es utilizada para dar una mayor consistencia a ciertas partes del polo como el bolsillo y pechera. Se considera un insumo de entrada en la operación de fusionado.
- Orden de habilitado: esta orden indica las cantidades y tipos de piezas que se deben agrupar. Es una entrada ya que esta orden proviene del área de planeamiento.

#### Factores controlables:

Los factores controlables son aquellos en los que el área de corte tiene control y pueden ser modificados para que los resultados del proceso se ajusten a los valores deseados.

- Limpieza de la mesa: es el grado de orden que presenta el área de trabajo. Según la opinión de los expertos en el área, este es un factor importante y controlable para la operación de Preparar Mesa.

- Estado de la mesa: es el estado de conservación de la superficie de la mesa. Se dice que está en buen estado cuando no presenta fisuras ni desniveles. Es un factor importante, ya que según los expertos, este factor puede afectar las operaciones de Preparar Mesa y Corte. A la vez es un factor controlable porque depende del buen uso por parte de los operarios y de su mantenimiento preventivo.
- Filo de las cuchillas: es la agudeza del instrumento cortante. El filo de las cuchillas es un factor relevante, ya que depende de ellas que se realice un corte adecuado a las medidas. Además, es controlable porque su afilamiento depende del operario que realiza el corte.
- Temperatura de máquina: es el nivel de temperatura interno que presenta la máquina de fusonado, el grado de temperatura es graduable por ello se ha considerado en el diagrama de proceso como controlable.
- Método de enumerado: consiste en la enumeración de las piezas ya cortadas, esta numeración es importante ya que permite juntar las piezas correspondientes para armar un polo. Se ha considerado como controlable debido a que se utiliza un procedimiento para realizar esta operación, existiendo además supervisión constante.

Factores críticos: Son factores controlables, que además impactan en mayor medida a los resultados del proceso según indican los especialistas del área.

- Número de paños tendidos: es la cantidad de paños de tela que se tienden para poder realizar el corte de las piezas. Se ha identificado que es un factor crítico debido a que la variación respecto al número de paños es causante de errores en la operación de corte de acuerdo con lo indicado por el ingeniero de planta.
- Experiencia de los operarios: la experiencia es el nivel de pericia que tiene el operario y está directamente relacionada con la cantidad de tiempo que el colaborador desempeña la tarea. Este factor es crítico debido a que el nivel de pericia de los operarios puede ser causante de un error en el corte.
- Método de tendido utilizado: indica el procedimiento que utilizan los operarios al tender la tela. Este factor está directamente relacionado con la cantidad de operarios que realicen el tendido y se ha identificado como factor controlable debido a que la cantidad de los operarios que realizan la operación se puede controlar y variar.
- Tiempo de reposo: es el tiempo asignado para el reposo de los paños previo al proceso de tendido. Para cada tipo de tela le corresponde un tiempo distinto de reposo. Sin embargo, a la fecha este tiempo no está estandarizado. Según los

expertos de la empresa este es un factor controlable y debería ser considerado para evitar problemas posteriores.

Factores no controlables:

- Densidad de paño: es la densidad que presenta la tela trabajada en el área de corte. Este factor se considera no controlable ya que no se puede modificar de manera directa por el área de corte. Además es un factor relevante ya que este indicador representa el peso que tiene la tela por metro cuadrado, y permite hacer la planificación del total de kilogramos de tela a utilizar para las prendas a cortar.
- Tipo de tela trabajada: el tipo de tela es un parámetro a considerar debido a la variedad de telas que la empresa utiliza. Para el caso analizado se tomará como referencia tela piqué 20/1 de color entero. Este factor se considera de no controlable por el área de corte ya que es un factor que elige el cliente del producto y el área no puede modificarla.
- Encogimiento de tela: las telas utilizadas en la empresa tienen un grado de encogimiento que se debe tener en cuenta para poder realizar el corte de las piezas. Este factor se considera no controlable, ya que depende del tipo de tela trabajado y es una característica adquirida por la tela en procesos previo de confección de la tela. Además, este valor es indicado en la orden de corte y en hojas de especificaciones de medida.
- Velocidad de corte: es la rapidez con la que se mueve la cuchilla al momento de realizar el corte. La velocidad con la que se realiza el corte es un factor no controlable debido a que esta no se puede modificar.

En resumen, de todos los factores detallados, aquellos que el área no puede controlar directamente son: el tipo de tela trabajada (Para el caso en estudio Pique Box 20/1), el encogimiento de tela y la densidad del paño, ya que el tipo de tela es determinada por el cliente y sus propiedades son asignadas en la planta Textil que produce los fardos de tela. Asimismo, la velocidad de corte no es controlable por las características de la máquina utilizada. Sin embargo, el área de corte puede adecuar su método de trabajo para cada tipo de tela, pero actualmente, no existen estándares de trabajo definidos por tipo de tela.

### 3.1.2 Voz del cliente

Para definir la voz del cliente, se realizó una entrevista al supervisor de calidad del área de costura (Cliente Interno). Se identificó, una de las características críticas de la calidad para las piezas cortadas y se plasmó esa información en un CQT (Critical Quality Tree) que se muestra en el gráfico nº 19

Se puede observar, que la VOC (Voz del cliente) se interpreta con el siguiente requerimiento:  $USL = \frac{1}{4}$  de pulgada, Media = 0 pulgadas y  $LSL = -\frac{1}{4}$  de pulgada. Es decir, las piezas cortadas no deben tener diferencias en medidas mayores a  $\frac{1}{4}$  de pulgada o menores a  $-\frac{1}{4}$  de pulgada.

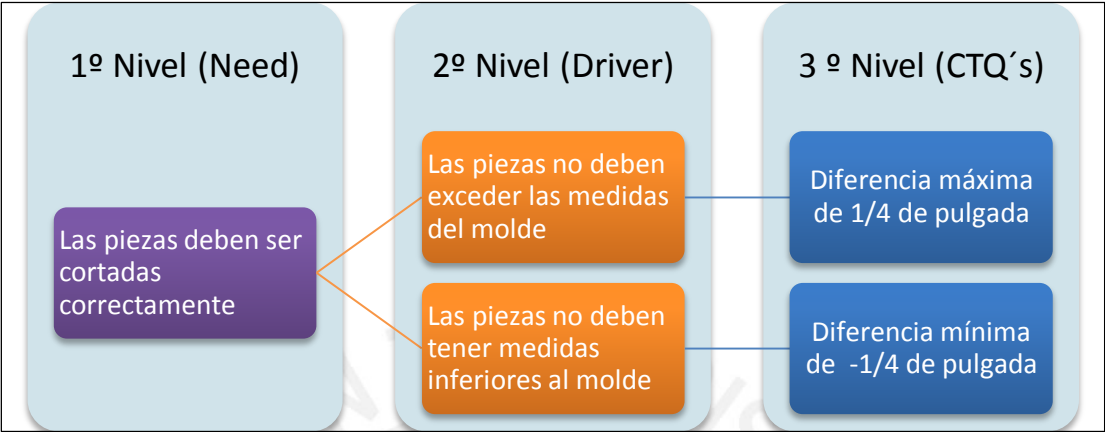


Gráfico 19 Diagrama CQT para el área de corte

Elaboración Propia

3.1.3 Tipos de Fallas Frecuentes

En este punto, se mostrará los tipos de fallas más frecuentes observados en el proceso de corte durante el periodo de enero a abril 2013. Además, se priorizará los tipos de fallas más relevantes con un Diagrama de Pareto. La información fue proporcionada por el área de Calidad, la cual se encarga de registrar los tipos de fallas en el sistema ERP que utiliza la empresa. Con la información descargada se elaboró el gráfico nº 20 Diagrama Pareto Tipos de Falla.

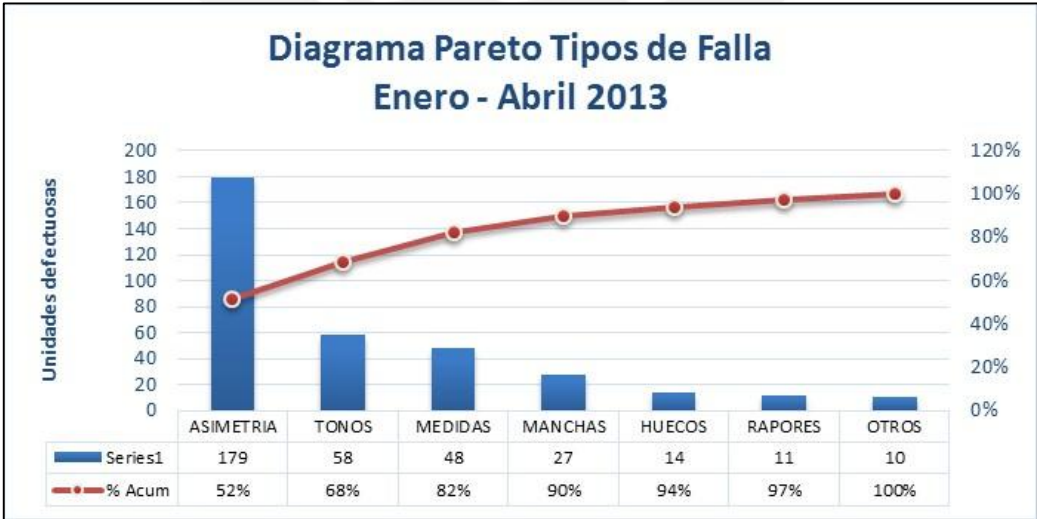


Gráfico 20 Diagrama de Pareto Tipos de Falla en el periodo enero – abril 2013

Elaboración propia

Mediante este gráfico se identificó que el 82% de las fallas se debe en su mayoría a fallas por asimetría, fallas por tono de telas y fallas por medidas.

A continuación se describe los tipos de fallas:

- Falla por asimetría: la asimetría se presenta cuando una pieza cortada al ser doblada en su eje simétrico no refleja las mismas partes entre sí; es decir, no presentan una figura simétrica. Además, cabe indicar, que una falla de asimetría de las piezas es ocasionada por una falla en las medidas de uno de los lados de la pieza. Cuando se reporta este tipo de falla los especialistas del departamento de calidad deciden entre dos opciones, la primera es reprocesar la pieza para que cumpla con las especificaciones y la segunda posibilidad es que la pieza sea rechazada y clasificada como merma.
- Falla por tono de telas: la falla por tono de telas se presenta cuando existe variaciones en la tonalidad del color. Esto se produce por interacción con el calor, luz, etc. En algunas ocasiones, se ha reportado este tipo de falla después del proceso de corte. En estos casos, el área de calidad reporta la falla y realiza la queja correspondiente al proveedor de tela, siempre y cuando la falla no se deba a un mal manejo de la tela.
- Falla por medidas: la falla por medidas se presenta cuando las piezas cortadas no cumplen con las especificaciones de medida ( $\pm \frac{1}{4}$  de pulgada). Cuando se presentan este tipos de fallas se reprocesan las piezas con diferencias en medidas positivas, es decir, que son mayores al límite máximo de especificación. Las piezas con diferencias por debajo del límite de especificación inferior son evaluadas por los operarios de calidad, quienes deciden su reproceso o descarte definitivo.
- Falla por manchas: este tipo de falla se da cuando los paños de tela presentan marcas ajenas a la tonalidad de la prenda en su respectiva superficie. Cada vez que se reporta este tipo de falla se consolida la información para enviar un reclamo al proveedor de la tela. Las piezas con manchas son desechadas del proceso.
- Falla por huecos: este defecto se observa cuando la tela presenta agujeros a lo largo de su superficie. Cabe indicar que el tamaño de estos agujeros es variable y pueden ser desde muy pequeños hasta grandes. Cuando este tipo de falla es detectado y el tamaño es pequeño se coloca un sticker cercano al agujero para prevenir su presencia y se continúa con el proceso de corte. Por otro lado, si el tamaño del agujero es grande se procede a cortar la zona afectada y se continúa con la operación de corte.
- Falla por rapores: se presenta en las telas listadas y se evidencia cuando las líneas que presenta la tela no encajan de forma precisa al realizar el empalme



entre estas. En estos casos, el jefe de corte y de calidad realizan una inspección al 100 % de las piezas del lote para determinar que piezas son rechazadas definitivamente y cuáles pueden continuar el proceso.

- Falla por otros: este tipo de falla engloba las que no han sido descritas anteriormente, en este tipo comúnmente se encuentran telas con corrimientos de hilos y raspadura de la tela, estas fallas son identificadas mediante stickers y son rechazadas posterior al proceso de corte de los paños de tela.

De los tres tipos de fallas más representativas identificadas en el análisis Pareto, el área de corte solo puede controlar de manera directa las fallas por asimetría y las fallas por medidas, ya que la frecuencia de estas fallas puede ser disminuida si se implementan mejoras en el proceso de corte.

Por otro lado, las fallas por diferencia en la tonalidad de colores de tela (tonos) es un tipo de falla que muchas veces es producto de una mala reacción de los químicos usados en el proceso de coloración de la tela con el medio ambiente; asimismo, para reducir este tipo de falla se debería implementar mejoras en el proceso de teñido de tela, el cual se realiza en la planta de confección de telas; es decir, está fuera del alcance del área de corte.

#### 3.1.4 Definición de los principales problemas

Por lo expuesto anteriormente, el área de corte presenta principalmente fallas en las piezas cortadas por asimetría y por diferencia de medidas que no cumplen con las especificaciones técnicas. Es por esto, que se producen muchas veces reprocesos y pérdidas de material. Por lo tanto, el principal problema es controlar las diferencias en medidas que ocurren en el área de corte, ya que además estas diferencias ocasionan las fallas en asimetría.

### 3.2 Etapa Medir

Esta etapa tiene como objetivo, entender el sistema de medición actual de la empresa, seleccionar las variables a medir, planificar la toma de muestras, realizar las mediciones para conocer la actual capacidad de proceso con respecto a las variables seleccionadas y validar el sistema de medición.

Para ello, se explicará el método que el área de calidad utiliza para detectar las diferencias en las medidas de las piezas cortadas. Se identificará aquellas medidas que tienen mayor variabilidad. Luego se tomarán muestras de las variables seleccionadas. Posteriormente, se realizará una prueba de normalidad a estas variables y se mostrará las gráficas de control e índice de capacidad de proceso de



las variables tipificadas. Finalmente, se mostrará un estudio R & R para determinar la exactitud del sistema de medición.

### 3.2.1 Método empleado para la toma de muestras y mediciones del área de Calidad.

La toma de muestras, mediciones respectivas e inspección, por parte del personal del área de calidad, se realiza de la siguiente manera:

- La auditora extrae una muestra, dependiendo del tamaño del lote de corte y en función a una tabla de muestreo (Ver tabla nº 7) que está basada en la norma NT-ISO 2859 y está diseñada con un plan de muestreo simple con inspección normal y un límite de calidad aceptable de 1.5% (Ver Anexo 12).
- Luego procede a revisar las piezas cortadas, guiándose de la hoja de especificaciones, verifica las medidas de las piezas con un centímetro.
- Registra las diferencias en medidas en la hoja de especificación (Ver Anexo 08).
- Inspecciona además otros atributos considerados dentro de la auditoria como: simetría, variación de tonos, contaminados, presencia de huecos por mal depurado, piezas con defectos de corte, mal fusionado, entre otros.
- Según los defectos que presenten los cortes auditados, la auditora es la única persona encargada en determinar si los lotes se aprueban o desaprueban.

**Tabla 7 Plan de Muestreo de la Empresa**

Tamaño Lote	Muestra	Acept. / Rechazado
01-50	6	0/1
50-90	13	0/1
91-150	20	0/1
151-280	32	½
281-500	50	2/3
501-1200	80	¾
1201-3200	125	5/6
3201-10000	200	7/8
10001-35000	315	10/11
350001-150000	500	14/15

Fuente: La Empresa  
Elaboración Propia

### 3.2.2 Selección de las variables a medir

Debido a que en el capítulo 3.1 se determinó que uno de los principales problemas en el área de corte son los rechazos de piezas por falla en medidas, se analizó las mediciones realizadas por el área de calidad a las piezas cortadas que se registran en las hojas de especificación (Ver Anexo 08). Para esto, se registró en una hoja Excel (Ver Anexo 13) los datos tomados de las hojas de verificación correspondientes al tipo de polo Piqué Box (Ralph Lauren) del periodo enero 2012 - abril 2013. En la tabla nº 8 se observa una muestra de estos datos en donde se registra las diferencias de las medidas reales de las piezas con respecto a las medidas del modelo patrón o molde.

**Tabla 8 Registro de diferencias de medidas**

OP	CLIENTE	PRENDA	DESCRIPCIÓN	TALLA	MEDIDA (Pulgadas)	DIFERENCIA (Pulgadas)	CM	MM
121470	Polo Ralph Lauren	Polo Shirt	LARGO DELANTERA HB	S	25 1/8	1/8	0,3175	3
121470	Polo Ralph Lauren	Polo Shirt	LARGO DELANTERA HB	S	25 1/8	0	0	0
121470	Polo Ralph Lauren	Polo Shirt	LARGO ESPALDA HB	S	26 15/16	1/8	0,3175	3
121470	Polo Ralph Lauren	Polo Shirt	LARGO ESPALDA HB	S	26 15/16	1/4	0,635	6
121470	Polo Ralph Lauren	Polo Shirt	LARGO MANGA HOMBRO	S	7 5/8	0	0	0
121470	Polo Ralph Lauren	Polo Shirt	LARGO MANGA HOMBRO	S	7 5/8	0	0	0
121470	Polo Ralph Lauren	Polo Shirt	SISA RECTA ESPALDA	S	7 15/16	- 1/16	-0,15875	-2
121470	Polo Ralph Lauren	Polo Shirt	SISA RECTA ESPALDA	S	7 15/16	1/8	0,3175	3
121470	Polo Ralph Lauren	Polo Shirt	LARGO DELANTERA HB	M	27	1/2	1,27	13
121470	Polo Ralph Lauren	Polo Shirt	LARGO DELANTERA HB	M	27	1/4	0,635	6
121470	Polo Ralph Lauren	Polo Shirt	LARGO ESPALDA HB	M	28 13/16	1/2	1,27	13

Fuente: La Empresa  
Elaboración Propia

A continuación, se seleccionó las variables en las cuales se centra el estudio. De las variables mencionadas se analizarán las de tipo: “Largo Delantero HB” y “Largo Espalda HB” ya que son las que presentan mayor variabilidad (Ver Tabla nº 9). La justificación para elegir las dos variables parte de la definición del sigma ( $\sigma$ ), ya que este describe la variabilidad de las mediciones; por lo tanto, a mayor sigma mayor es la variabilidad. Por otro lado, el nivel sigma ( $\sigma$ ) indica cuán frecuente pueden ocurrir los defectos. Un nivel sigma alto significa que existe una menor frecuencia de errores. Para un nivel de seis sigma, la frecuencia es de 3.4 errores en un millón de oportunidades. (Breyfogle 2003: pp 3). Por lo tanto, el nivel sigma ( $\sigma$ ) es inversamente proporcional al sigma ( $\sigma$ ).

Tabla 9 Resumen por tipo de medida

DESCRIPCIÓN	n	Media	Desviación
LARGO DELANTERA HB	354	0	7/34
LARGO ESPALDA HB	354	- 1/38	18/95
ANCHO DE FALDON	354	- 1/7	11/72
ANCHO PECHO 1 " BAJO SISA	354	- 9/73	1/7
ANCHO DE HOMBROS DELANTERO	336	- 4/53	6/43
ANCHO DE HOMBROS ESPALDA	336	- 2/17	13/94
ANCHO ESPALDA A MITAD SISA	305	- 5/54	4/29
ANCHO PECHO A MITAD DE SISA	281	- 10/89	11/81
ABERTURA DE MANGA EN COSTURA	344	- 1/34	2/15
SISA RECTA ESPALDA	334	7/61	9/79
SISA RECTA	334	3/34	1/9
LARGO MANGA HOMBRO	328	- 1/98	5/46
ABERTURA CUELLO ESPALDA	317	0	6/67
ABERTURA CUELLO FRENTE	317	4/99	7/82

Fuente: La Empresa  
Elaboración Propia

Además, se muestra un gráfico Pareto para identificar las fallas en medidas más frecuentes por tipo de pieza de enero a marzo del 2013 (Ver gráfico nº 21). Se observa que el 60% de las fallas se deben a fallas en “Largo Delantero HB” y “Largo Espalda HB”.

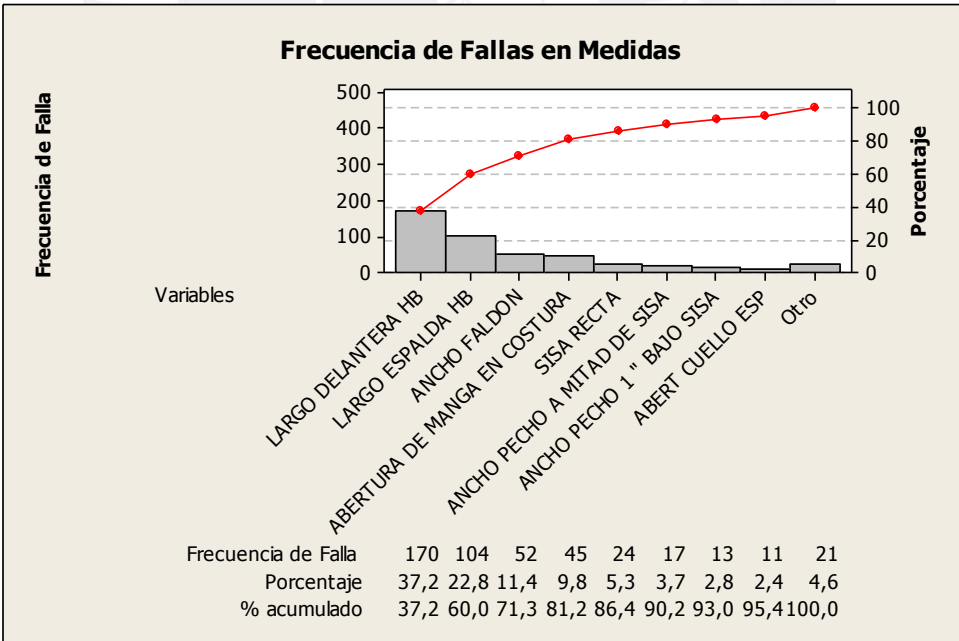
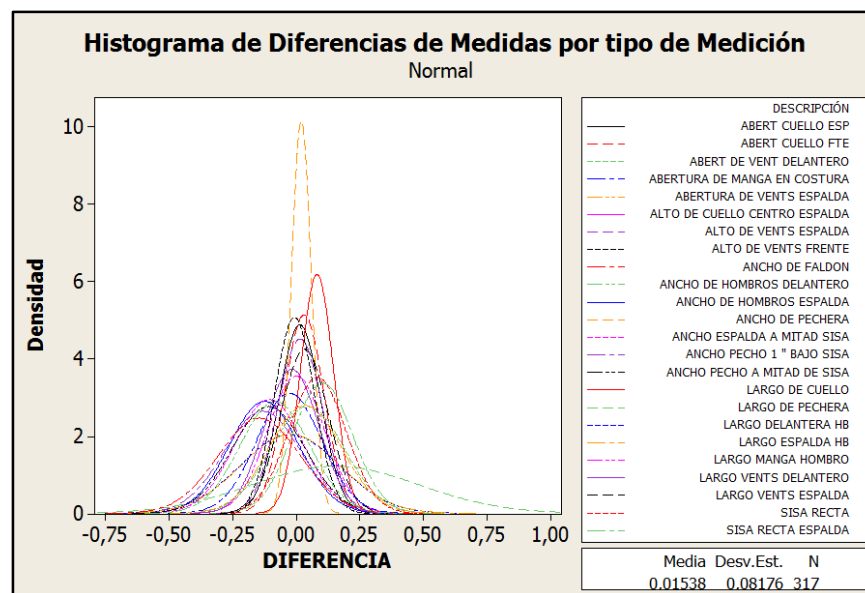


Gráfico 21 Diagrama Pareto de frecuencia de fallas en medidas

Fuente: La Empresa  
Elaboración Propia

A continuación, se muestra el histograma de las diferencias en medidas recolectadas por el área de calidad para cada una de las mediciones hechas a las piezas auditadas, tal como se observa en el gráfico n° 22.



**Gráfico 22 Histograma de Diferencia Medidas por tipo de Medición**

Elaboración Pronia

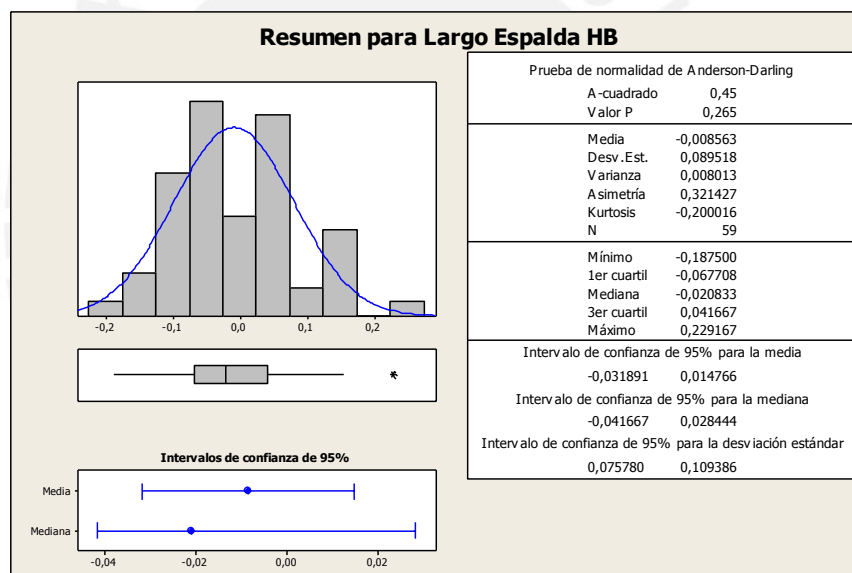
El gráfico sugiere que las variables se ajustan a una distribución normal. Sin embargo, para confirmar lo dicho se realizará posteriormente una prueba de normalidad de los datos de las variables seleccionadas. Además, se puede observar que algunas de las variables se encuentran centradas en el valor de cero y otras presentan corridas tanto hacia la cola izquierda como hacia la cola derecha, lo que indicaría que algunas de las piezas están presentando medidas inferiores o superiores a las que se especifican en el molde. Además, se muestra en el anexo 14 el histograma para cada uno de los tipos de mediciones realizadas detallando algunas estadísticas descriptivas como la media y desviación estándar de las mediciones hechas.

En conclusión, se eligió para el proyecto las variables de diferencias en medidas de "Largo Delantero HB" y "Largo Espalda HB", teniendo en cuenta que presentan mayor variabilidad y que además representan el mayor porcentaje de las fallas en el periodo analizado.

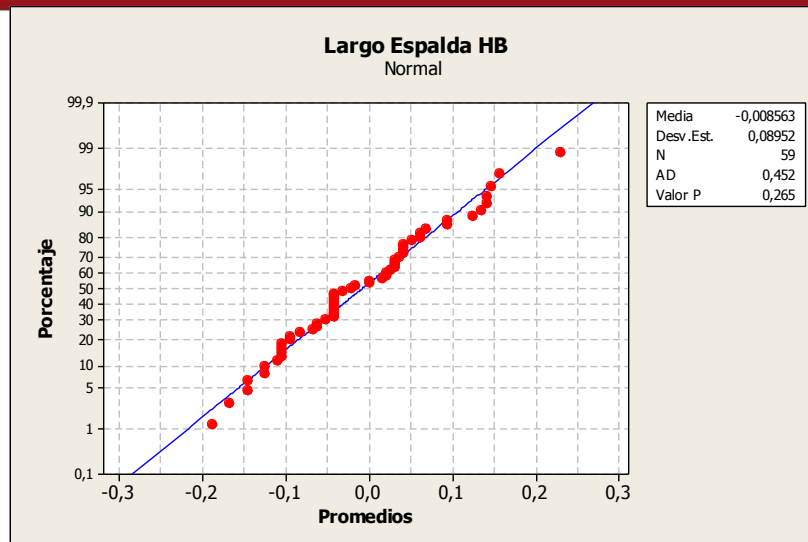
### 3.2.3 Prueba de Normalidad de las variables

En este punto se desea probar la normalidad de las variables Diferencias en medidas de Largo Delantera HB y Largo Espalda HB con la finalidad de poder realizar gráficas de control X-R y realizar un análisis de capacidad de proceso para ambas variables. Por tal motivo, resulta fundamental demostrar la normalidad de las variables. Para esto, se consideró agrupar las variables en subgrupos de seis “véase anexos 15 y 16”; teniendo en cuenta el “*Teorema de Límite Central*”, que indica que la suma de  $n$  variables aleatorias con distribuciones independientes es aproximadamente normal, sin importar cuáles sean las distribuciones de las variables individuales (Montgomery 2006:68).

Los gráficos n° 23 y n° 24 muestran las características de la variable “Diferencias Largo Espalda” y la prueba de normalidad para dicha variable agrupada.



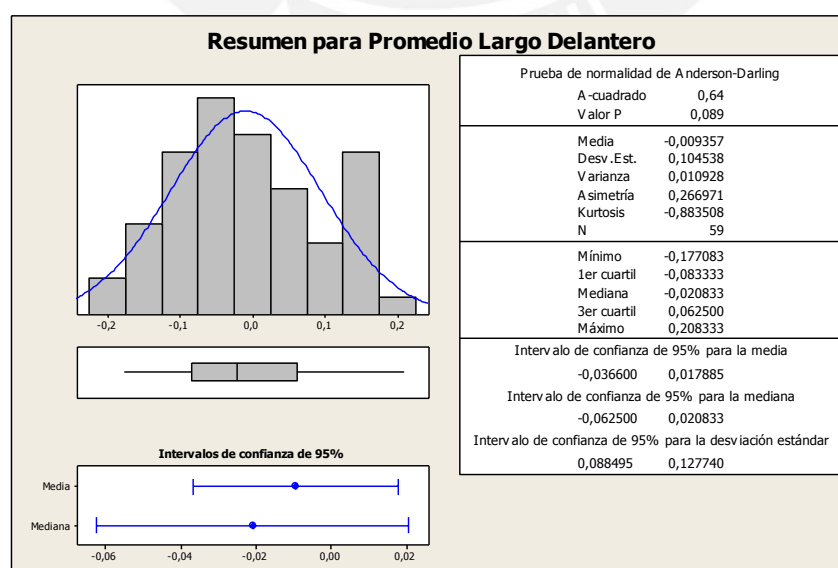
**Gráfico 23 Resumen Descriptivo para Diferencias Largo Espalda HB**  
Elaboración Propia



**Gráfico 24 Prueba de Normalidad Diferencias Largo Espalda HB**  
Elaboración Propia

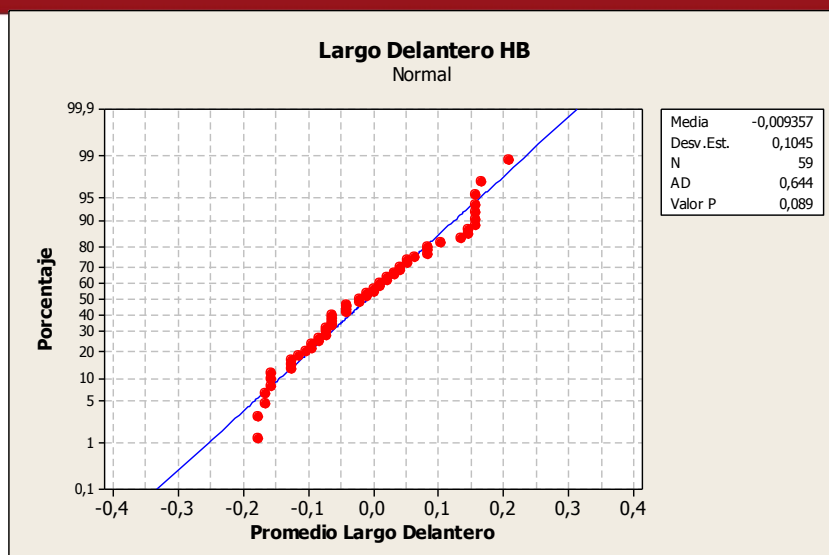
Se puede afirmar con un 95 % de confianza que la media de la variable se encuentra entre -0,03 y 0,01 pulgadas y que su desviación estándar se encuentra entre 0,075 y 0,10 pulgadas. Asimismo, el gráfico nº 29 muestra que el p-value para la prueba de normalidad Anderson Darling, es mayor a 0.05 lo que indica que los datos se ajustan a la distribución normal con media -0,009 pulgadas y una desviación estándar de 0,09 pulgadas

Además, se muestra en el gráfico nº 25 y nº 26 la descripción y la prueba de normalidad para la variable “Diferencias Largo Delantero HB”. Se observa que la variable se ajusta a una distribución normal con media -0.009 y desviación estándar 0,105 pulgadas ya que el p-value arroja un valor mayor a 0,05.



**Gráfico 25 Resumen Descriptivo Diferencias Largo Delantero HB**  
Elaboración Propia

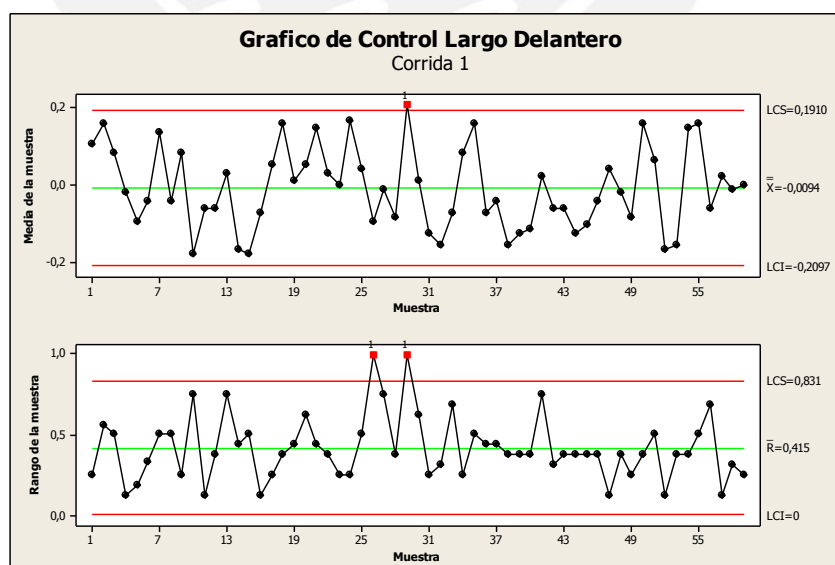




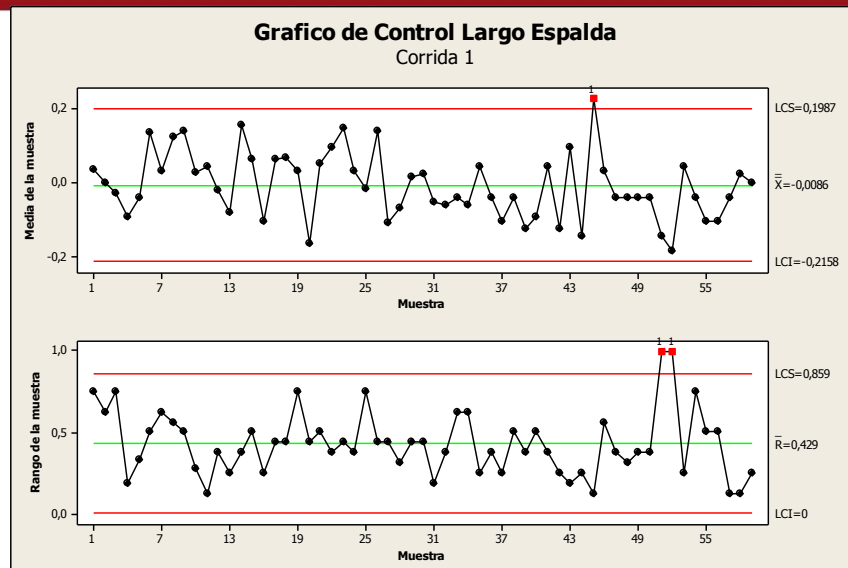
**Gráfico 26 Prueba de Normalidad Largo Delantero HB**  
Elaboración Propia

### 3.2.4 Gráfica de Control para las variables

Una vez tipificadas las variables se realizó las gráficas de control X-R para ambas variables con el objetivo de conocer el comportamiento de las medias y de los rangos de las dos variables y determinar si el proceso se encuentra bajo control o fuera de control estadístico. El gráfico n° 27 muestra el gráfico de control para la variable diferencias de largo delantera HB y el gráfico n° 28 para la variable diferencias de largo espalda HB. Se observa que existen puntos fuera de control para ambas variables.



**Gráfico 27 Gráfico de control X-R Diferencia Largo Delantero HB**  
Elaboración Propia

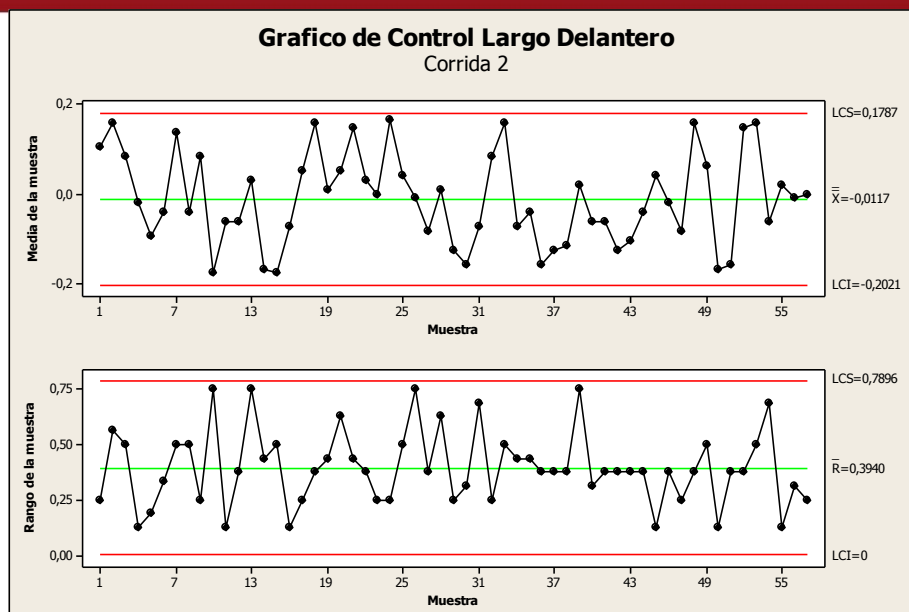


**Gráfico 28 Gráfico de control X-R Diferencia Largo Espalda HB**  
Elaboración Propia

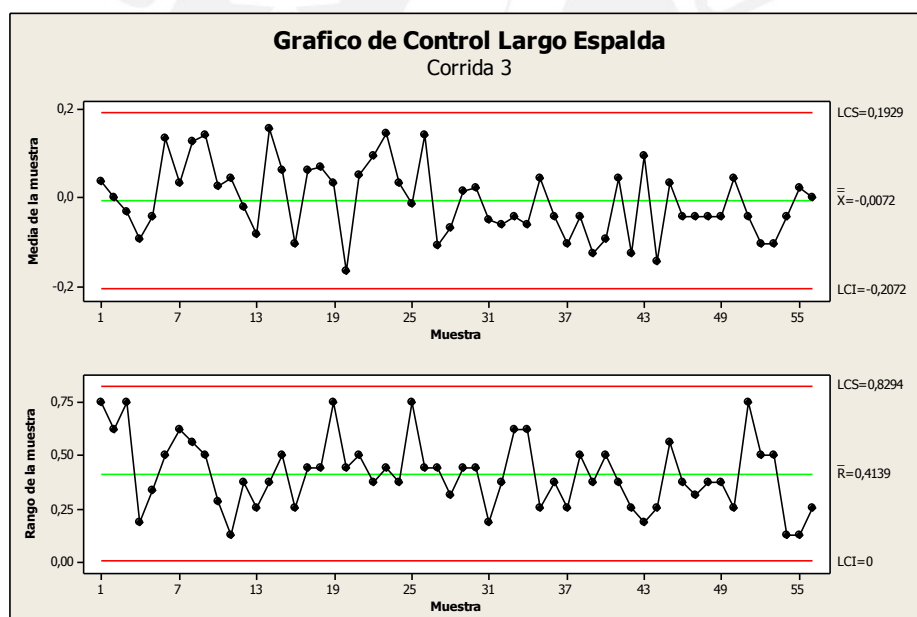
Posteriormente se analizaron todas las causas que ocasionaron que las muestras estén fuera de control. Se determinó que los puntos que están fuera de control se debieron en su totalidad a lo siguiente:

- Error en la colocación del tizado de papel sobre los bloques a cortar. Para estas muestras se evidenció que el molde de papel no estaba correctamente puesto sobre los bloques de tela. Lo que origina que en el corte existan diferencias significativas en las medidas de las piezas.
- Presencia de operarios nuevos en el área de corte. Para estas muestras se encontró que los operarios que realizaron el corte no tenían mucha experiencia en la operación debido a que estos operarios tenían menos de un mes en la empresa y se les había asignado realizar el corte por falta de personal experimentado en ese momento.

Teniendo en cuenta lo anterior, se volvió a graficar las cartas de control para recalcular los límites de control, encontrando la estabilidad en el proceso para ambas variables. El gráfico n° 29 muestra los límites de control a 3 desviaciones estándar para “Largo Delantera HB”. Se puede observar que la variable se encuentra dentro de los límites de control establecidos. Asimismo, el gráfico n° 30 muestra que la variable “Largo Espalda HB” se encuentra dentro de los límites de control establecidos a 3 desviaciones estándar.



**Gráfico 29 Gráfico de Control Largo Delantero HB**  
Elaboración Propia



**Gráfico 30 Gráfico de Control para Largo Espalda HB**  
Elaboración Propia

Luego se emplearon criterios suplementarios (reglas de sensibilidad) en el análisis de ambas gráficos de control (Ver anexo 17) para corroborar la estabilidad del proceso. Como resultado, se concluye que las cartas se encuentran bajo control estadístico. Sin embargo, esto no indica si el desempeño del proceso está cumpliendo las especificaciones del cliente. Para esto, el análisis de capacidad de proceso es una posible solución.

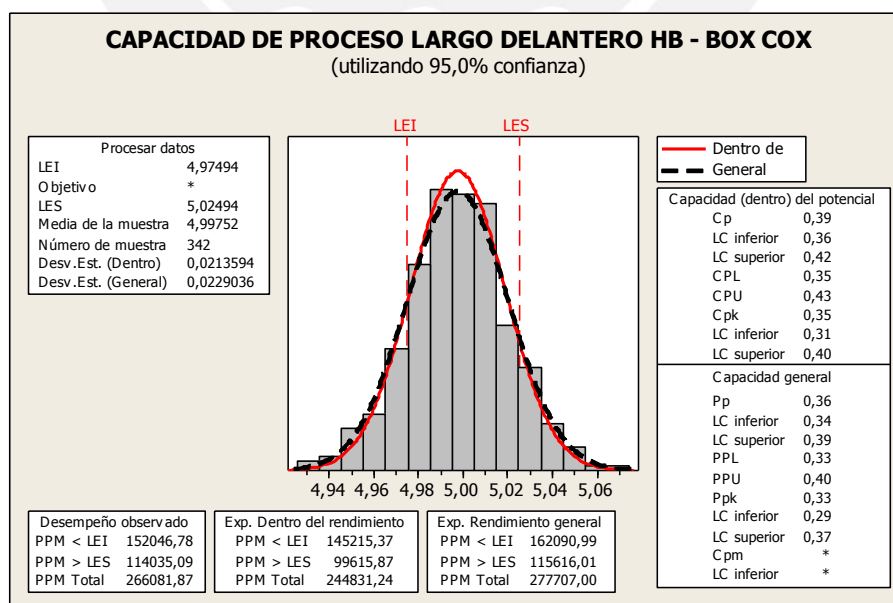
### 3.2.5 Análisis de Capacidad de Proceso

Se desea medir la variabilidad del proceso con respecto a las especificaciones del cliente. Para esto, se calcularon los índices de capacidad de proceso para las dos variables en estudio. Existen tres condiciones para que el cálculo del índice sea relevante las cuales son (Montgomery 2005: pp 350):

- La variable sigue una distribución normal
- El proceso está bajo control estadístico
- La media está centrada entre el Límite Superior y el Límite Inferior.

Para cumplir con la primera condición, se realizó una transformación Box-Cox a ambas variables, debido a que no se ajustaban a la distribución normal como se puede observar en el anexo 18. Por otro lado, las medias de ambas variables se encuentran centradas. Asimismo, por lo expuesto en el punto 3.2.4 se determina que el proceso se encuentra bajo control estadístico. Teniendo esto en cuenta se procede al cálculo de los índices de capacidad.

En el gráfico n° 31 se observa un valor de índice Cp de 0,39 para la variable “Largo Delantera HB”. Este valor se compara con los valores mínimos de tabla n° 10 y se determina que el proceso no cumple con los estándares esperados para proceso existentes. Además, se observa un ppm de 277 707 que se traduce a un nivel sigma de 0,69; es decir, el proceso no es capaz de cumplir con las especificaciones del cliente.



**Gráfico 31 Capacidad de proceso largo delantero HB**  
Elaboración propia

Tabla 10 Valores mínimos recomendados para capacidad de proceso

	Especificaciones Bilaterales	Especificaciones Unilaterales
Procesos existentes	1,33	1,25
Procesos nuevos	1,5	1,45
Seguridad, resistencia o parámetro crítico, Proceso existente	1,5	1,45
Seguridad, resistencia o parámetro crítico, Proceso nuevo	1,67	1,6

Fuente: Montgomery (2006: pp 361)

Elaboración Propia

Asimismo, el gráfico n° 32 muestra un valor del índice Cp de 0,38 para la variable “Largo Espalda HB”. Este valor se compara con los valores mínimos de tabla n° 10 y se determina que el proceso no cumple con los estándares esperados para proceso existentes. Además, se observa un ppm de 286’554 lo que significa un nivel sigma de 0,64. En otras palabras, el proceso no es capaz de cumplir con las especificaciones del cliente.

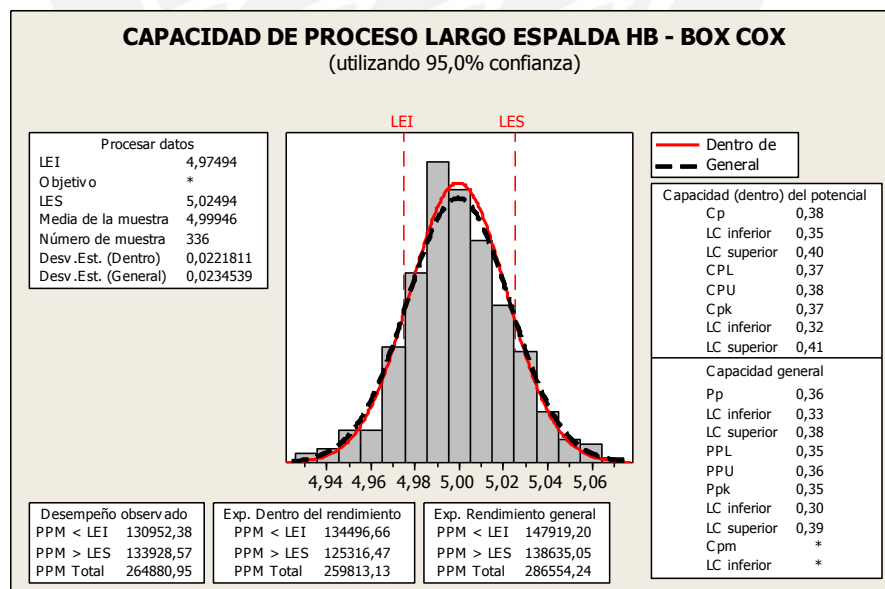


Gráfico 32 Capacidad de proceso largo espalda HB  
Elaboración propia

Por lo tanto, luego de haber analizado ambas variables se determina que el proceso de corte no está cumpliendo las especificaciones del cliente, pues en ambas mediciones el índice de capacidad de proceso es inferior a uno.

### 3.2.6 Estudio R&R del Sistema de Medición.

A continuación, se muestra los resultados del análisis R & R que se realizó al sistema de medición antes de proceder con la toma de muestras. El propósito del estudio R&R es cuantificar las fuentes de variación en el sistema de medición. Para esto, se tomaron ocho piezas y se

**Resultados para: Datos R y R**

**Estudio R&R del sistema de medición - método ANOVA**

**Tabla ANOVA de dos factores con interacción**

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Parte	7	1,79074	0,255821	340,278	0,000
Operador	2	0,00076	0,000380	0,505	0,614
Parte * Operador	14	0,01053	0,000752	0,990	0,478
Repetibilidad	48	0,03646	0,000760		
Total	71	1,83849			

Alfa para eliminar el término de interacción = 0,25

**Gráfico 33 ANOVA sistema de medición**

Elaboración propia

realizaron tres réplicas por cada uno de los tres operarios de calidad seleccionados. En el anexo 19 se muestra los datos tomados para el estudio. Las mediciones se realizaron de manera aleatoria y se ingresaron al software Minitab para analizar el sistema de medición. Los operarios utilizados para esta prueba pertenecen al área de calidad con años de experiencia y que realizan las mediciones continuamente.

El análisis ANOVA del gráfico n° 33 muestra que los p-values para Operador y La interacción de Parte – Operador son mayores a 0.05 lo que significa que cumplen

**R&R del sistema de medición**

Fuente	CompVar	%Contribución (de CompVar)
Gage R&R total	0,0007578	2,60
Repetibilidad	0,0007578	2,60
Reproducibilidad	0,0000000	0,00
Operador	0,0000000	0,00
Parte a parte	0,0283403	97,40
Variación total	0,0290981	100,00

Fuente	Desv.Est. (DE)	Var. estudio (6 * DE)	%Var. estudio (%VE)
Gage R&R total	0,027528	0,16517	16,14
Repetibilidad	0,027528	0,16517	16,14
Reproducibilidad	0,000000	0,00000	0,00
Operador	0,000000	0,00000	0,00
Parte a parte	0,168346	1,01007	98,69
Variación total	0,170582	1,02349	100,00

Número de categorías distintas = 8

**Gráfico 34 R & R del sistema de medición**

Elaboración Propia

con la Hipótesis nula, es decir, no existe diferencia entre las mediciones de los operarios. Por otro lado, el p-value para Parte es menor a 0.05 lo que significa que sí existe diferencia de mediciones entre las partes. Este resultado indica que el sistema de medición detecta diferencia entre partes y que no existe diferencia de medidas entre operarios. En el gráfico n° 34 se observa que el mayor porcentaje de contribución a la variación es debido al cambio de partes con un 97,40%.



Además, muestra que el porcentaje de contribución a la variación por parte del sistema de medición es de 16,14%. La contribución a la variación por repetibilidad es de 16,14% y 0% de reproducibilidad. Según la tabla nº 11 el sistema es potencialmente aceptable, ya que se encuentra en el rango de 10% a 30%. Sin embargo, se considera aceptable ya que las mediciones no son críticas de acuerdo a la opinión de los expertos del área.

Además, el número de categorías obtenido en el gráfico nº 34 es igual a 8 y teniendo en cuenta la tabla nº 12 se puede decir que el sistema de medición es aceptable y puede distinguir diferencia entre partes.

**Tabla 11 Criterio Aceptación  
Sistema Medición**

%Tolerance, %StudyVar %Process	El Sistema es...
Debajo de 10%	Aceptable
10% a 30%	Potencialmente aceptable ( depende de cuán crítico es la medida, costo, riesgo,etc)
Encima de 30%	No aceptable

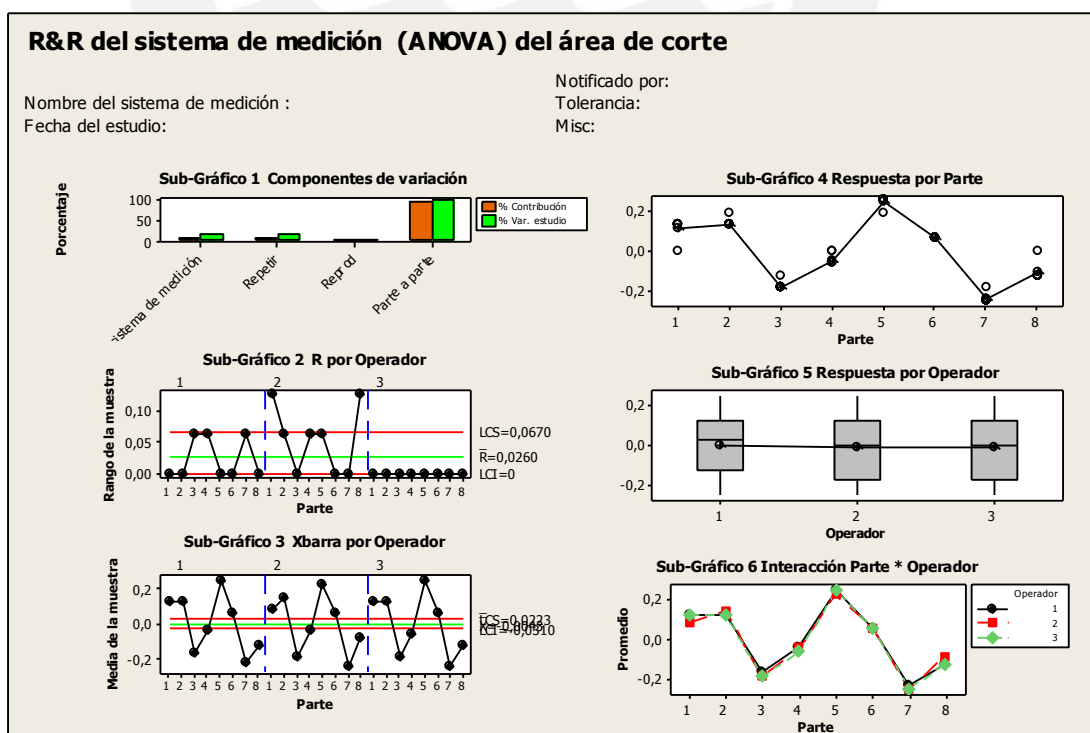
Fuente: Manual Minitab  
Elaboración Propia

**Tabla 12 Número de Categorías  
Sistema Medición**

Número de Categorías	Significado
< 2	El sistema no puede discriminar entre partes
= 2	Partes pueden ser divididas en grupos altos y bajos , como en datos de atributo
≥ 5	El sistema es aceptable (de acuerdo a AIAG) y puede distinguir entre partes

Fuente: Manual Minitab  
Elaboración Propia

En el sub-gráfico 1 del gráfico n° 35 se observa la gráfica de componentes de variación que indica el porcentaje de contribución a la variación. Se puede apreciar que la mayor variación es debido al parte a parte. En el sub-gráfico 2 R por Operador se muestra la uniformidad en las mediciones por Operador; en él se observa que el operador 3 obtuvo mediciones más uniformes. En cuanto al sub-gráfico 3 Xbarra por operador se observa que los puntos están fuera de los límites de control lo que refuerza la idea de que la variación se debe en su mayoría a la diferencia entre partes. Esto nos muestra que la variación parte a parte es mayor a la variación del dispositivo de medición (centímetro). El sub-gráfico 4 respuesta por parte muestra que existe variación entre las partes (piezas medidas). En el sub-gráfico 5 respuesta por operador se observa que las mediciones y la variabilidad son uniformes entre los operadores (personal del área de calidad). Por último, el sub-gráfico 6 interacción Parte \* Operador muestra que los promedios de las medidas hecha por cada operario de cada parte son casi similares; es decir no existe interacción entre parte y operador. Con base en los resultados obtenidos se concluye que el sistema de medición es potencialmente aceptable; sin embargo este se considerará aceptable ya que las mediciones no son críticas en cuanto a costo y/o riesgo según lo expuesto por el supervisor de corte. Por lo tanto, los datos obtenidos para la ejecución del proyecto son confiables.



**Gráfico 35 Análisis R & R del Sistema de Medición (ANOVA) del área de corte**

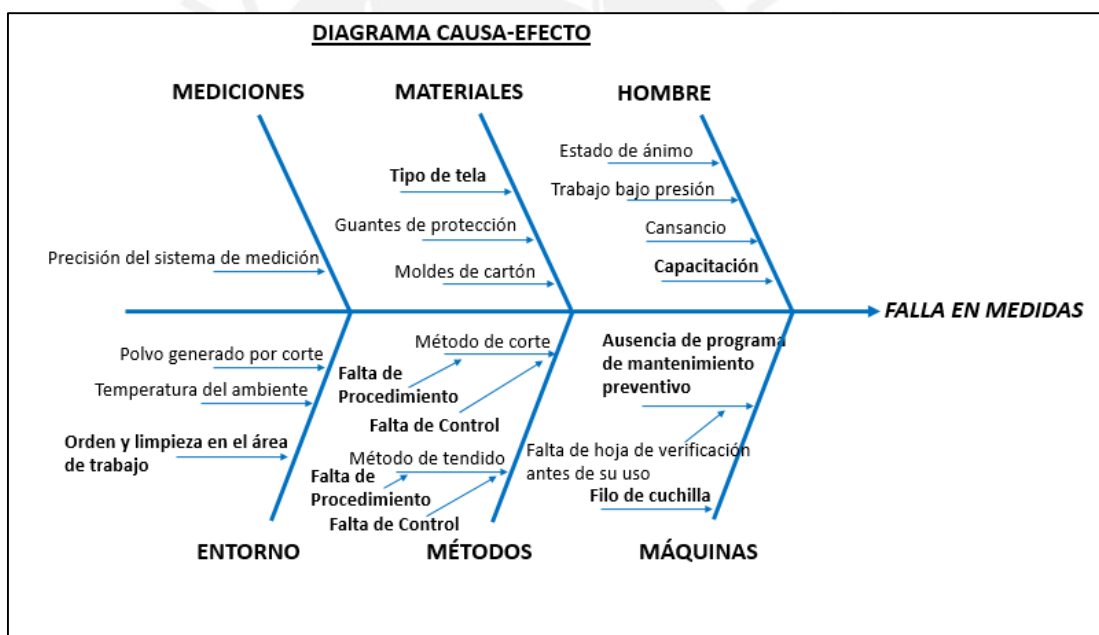
Elaboración Propia

### 3.3 Análisis de datos y búsqueda de la raíz de los problemas

En este capítulo se analizarán las causas que originan los productos defectuosos en el área de corte. Para esto, se realizará un análisis causa-efecto para detectar las causas raíz que originan las fallas en medidas usando un diagrama espina de pescado (Ishikawa). Luego, se calculará el número de prioridad de riesgo de los modos de fallo para el proceso de corte. Para esto, se utilizará un análisis modal falla efecto (AMFE). Finalmente, se realizará el análisis de Diseño de Experimentos para determinar los factores que afectan significativamente al proceso.

#### 3.3.1 Diagrama Causa – Efecto (Ishikawa)

Una vez identificado que el tipo de falla más relevante es el de falla por diferencia en medidas se procedió a realizar un análisis causa-efecto que se presenta a continuación:



**Gráfico 36 Diagrama Causa Efecto - Falla en Medidas**

Elaboración Propia

Se observa en el gráfico n° 36 que existen diferentes causas relacionadas a los factores: hombre, material, medición, máquinas, método y entorno. Este diagrama de espina de pescado fue elaborado con la colaboración de personas expertas pertenecientes al área de corte y en este se pueden observar las posibles causas para obtener fallas por medidas.

Se observa que bajo el factor Hombre las causas resaltantes pueden ser el cansancio, el trabajo bajo presión, el estado de ánimo y nivel de capacitación de los

operarios. Es preciso indicar que con respecto al nivel de conocimiento de los operarios, se evidenció falta de capacitación al personal en temas de calidad como mejora continua, herramientas de calidad y uso de tabla de muestreo por atributos.

En cuanto al factor material, se encontró que una posible fuente principal de falla en medidas es el tipo de tela con la que se trabaja, ya que las telas tienen propiedades diferentes como el encogimiento, entre otras (Para el caso en estudio se tiene Pique 20/1). Además como posibles factores de falla también se tienen los guantes de protección para el operario y los moldes patrones proporcionados por el área de ingeniería que sirven como modelo para el corte de las telas. Para el caso de los guantes de protección, según explicaron los expertos, son causantes de incomodidad para el operario al momento de realizar la operación de corte; asimismo, los moldes al ser de un material de baja resistencia se deterioran fácilmente y se exceden los límites establecidos al realizar esta operación.

Bajo el factor Medición y de acuerdo con la opinión de los especialistas del área se encontró que una posible causa para obtener fallas en medidas es la precisión del sistema de medición; sin embargo, según los resultados del análisis R&R se comprobó que el sistema de medición del área de auditoría es adecuado. Por lo tanto, no es una causa raíz para el problema.

Para el factor Máquinas la falta de mantenimiento preventivo de las cortadoras eléctricas y cinteras es una posible causa para que existan fallas en el corte de las piezas. Asimismo, es importante indicar que la falta de mantenimiento de las cuchillas que se utilizan en las máquinas de corte puede ocasionar fallas en las piezas finales. Por otro lado, el no contar actualmente con una hoja de verificación para controlar el buen estado de las máquinas antes de su uso puede ser un factor de falla en el mantenimiento preventivo y en consecuencia un factor de falla para las diferencias en medidas.

Para el factor Método se encontró que las posibles causas para que ocurra una falla en medidas son la falta de procedimientos y mecanismos de control para el tendido y corte. Actualmente, el tendido de tela se realiza de manera manual a cargo de dos a tres operarios. Además, el número de paños tendidos es un parámetro relevante para el proceso; no obstante, no existe un estándar establecido para determinar el adecuado número de paños a tender, recurriendo a la experiencia del operario. En cuanto al método de corte, se observó que se realiza con una sierra recta eléctrica dirigida por un operario; actualmente, esta operación no se encuentra estandarizada.

Bajo el factor ambiente o entorno se encuentran posibles causas como la temperatura ambiente del área de trabajo que puede disminuir la eficiencia del operario. Además, el orden y limpieza de la mesa es una posible causa que puede conllevar a un mal tendido de los paños.

En conclusión, aquellas causas que son relevantes para que se presenten fallas en el proceso de corte son:

- Tipo de tela
- Falta de capacitación
- Mantenimiento preventivo de máquinas
- Filo de cuchillas
- Falta de Procedimientos en la operaciones de Tendido y Corte
- Falta de Controles en métodos de Tendido y Corte
- Orden y limpieza en espacio de trabajo

### 3.3.2 Análisis Modal Falla Efecto (AMFE)

A continuación, se desarrolla un análisis modal de fallos y efecto para identificar y prevenir los modos de fallo en el proceso. Para esto, se evaluó el Número de Prioridad de Riesgo (NPR) que incluye los valores de gravedad (s), probabilidad (o) y probabilidad de no detección (D).

En el anexo nº 20 se observa los niveles de gravedad del fallo o defecto. Estos valores van del 1 al 10 según los criterios mostrados en la tabla. Además, se muestra los valores de nivel de detección donde se asigna un puntaje del 1 al 10 según el nivel que tiene el fallo para ser detectado por el cliente. Asimismo, en este anexo se pueden encontrar los valores de probabilidad usados y sus criterios para ser asignado. Se observa que se asigna una puntuación del 1 al 10 según el nivel de probabilidad de ocurrencia del fallo.

Finalmente, el resultado de evaluar el AMFE (Ver tabla nº 13) muestra que las fallas relacionadas al método de tendido y diferencias de medidas en las piezas cortadas tienen un alto nivel de prioridad de riesgo. Es por esto, que se debe plantear acciones correctivas y preventivas para evitar esas fallas. En el análisis se propone determinar el número de paños para el tipo de tela a cortar, establecer procedimientos y establecer cartas de control para poder controlar las diferencias en medidas de las piezas. Sin embargo, las propuestas serán detalladas en el capítulo 3.4

Tabla 13 Análisis Modal Falla Efecto del Área de Corte

Nombre Producto	Operación o Función	Modo de Fallo	Efecto de Fallo	Gravedad (s)	Causas de Fallo	Probabilidad de Ocurrencia (o)	Control	Probabilidad de no detección (D)	NPR	Acción Correctiva
PAÑOS DE TELA	TENDIDO	No se tiende los paños adecuadamente	Fallas en asimetría y medidas	10	Exceso de paños tendidos	7	Supervisión visual	7	490	Establecer valores óptimos para tendido de tela e implementar un procedimiento estándar
PIEZAS CORTADAS	CORTE	No se detecta diferencia de medidas	Fallas en asimetría y medidas	10	Error en ejecución del corte, Mal tendido de tela.	7	Toma de muestra de piezas cortadas	7	490	Establecer gráficas de control para las diferencias, establecer mejora en proceso de tendido y corte de telas
SIERRA RECTA	CORTE	No se detecta la diferencia de medidas pieza según molde de tizado	Fallas en asimetría y medidas	10	Mal maniobra del Operario	6	Toma de muestra de piezas cortadas	7	420	Capacitar a operarios de corte en uso de máquina recta.
SIERRA CINTERA	CORTE	Falla en cortar pieza según molde de tizado	Fallas en asimetría y medidas	10	Mal pulso de Operario	6	Toma de muestra de piezas cortadas	7	420	Capacitar a operarios de corte en uso de máquina cintera.
COLLARETERA	CORTE COLLARETA	Falla en máquina, cuchilla defectuosa	Rollo de Collaretas no uniformes	9	Cuchilla defectuosa	7	No existe	6	378	Mantenimiento a máquina collaretera y cambio de cuchillas
TIZADO	TENDIDO	Mal posicionado de tizado en telas	Fallas en asimetría y medidas	9	Error de operario al posicionar el tizado encima del tendido de tela	5	Supervisión visual	5	225	Plan de capacitación a personal y supervisión de correcto posicionado de tizado en tendido
CUCHILLAS	CORTE	Falta de filo de cuchillas	Dificultad para cortar piezas	8	Mal mantenimiento	5	Obtener Filo de cuchillas frecuentemente	5	200	Plan de mantenimiento de máquinas

Elaboración Propia



### 3.3.3 Diseño de Experimentos

En este acápite se busca conocer cuáles son los factores que afectan a la variable de respuesta (diferencia en medidas). Para esto, se utilizó el diseño de experimentos que permite identificar los factores más relevantes y posteriormente, en el capítulo 3.4.1, mostrar la combinación más adecuada de estos para que la variable de respuesta del proceso se ajuste a las especificaciones del cliente.

#### 3.3.3.1 Selección de factores, niveles y rangos

Con los resultados obtenidos del análisis AMFE y de una lluvia de ideas realizada con los especialistas del área de corte, se estableció la siguiente lista de posibles factores, teniendo en cuenta lo detallado en el Diagrama de procesos (Ver Gráfico n° 18):

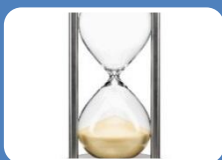
- Número de paños a tender
- Tiempo de reposo de la tela
- Número de personas para realizar el tendido

De los factores mencionados, se eligió el número de paños a tender, tiempo de reposo de la tela y número de personas para realizar el tendido como factores principales para la ejecución del experimento, el factor largo de tendido se mantuvo en un valor constante para el ensayo de acuerdo a la opinión de los expertos en el área. Según lo establecido anteriormente, se procedió a seleccionar los niveles y rangos para cada factor.



#### Factor A: Número de paños

- Nivel Alto: 100 (+1)
- Nivel Bajo: 80 (-1)



#### Factor B: Tiempo de reposo

- Nivel Alto: 4 hrs (+1)
- Nivel Bajo: 0 hrs (-1)



#### Factor C: Número de Personas

- Nivel Alto: 4 (+1)
- Nivel Bajo: 2 (-1)

### 3.3.3.2 Variable de respuesta

La variable de respuesta seleccionada es la diferencia en medidas de “Largo Delantero HB”. Se consideró realizar el experimento con dos réplicas con la finalidad de obtener resultados más confiables. Además, no se ha considerado un número mayor de réplicas debido a la complejidad y alto costo que implica realizar el experimento.

### 3.3.3.3 Diseño del Experimento

En este punto se seleccionará el diseño de experimento más adecuado al problema. Uno de los principales objetivos del experimento es conocer los factores relevantes que afectan significativamente a la variable de respuesta. Esto es comúnmente llamado un proceso de tamizado de factores. El autor Montgomery (2000: pp. 218) propone para este tipo de situaciones los experimentos de dos niveles o también llamados  $2^k$ . Para el caso en estudio, se propone utilizar un diseño factorial completo para poder determinar la significancia de los tres factores y sus interacciones.

Teniendo esto en cuenta, si se considera el diseño  $2^k$  completo con dos réplicas se necesitará un total de 16 tratamientos. Se consideró los tres factores mencionados: Número de paños (A), Tiempo de reposo (B) y Número de Operarios (C).

A continuación en el gráfico n° 37 se muestra el resumen del diseño de experimentos y en el gráfico n° 38 se muestra la matriz que se utilizará para la ejecución del experimento.

Bienvenido a Minitab, presione F1 para obtener ayuda.

**Diseño factorial completo**

Factores:	3	Diseño de la base:	3; 8
Corridas:	16	Réplicas:	2
Bloques:	1	Puntos centrales (total):	0

Todos los términos están libres de estructuras alias.

**Gráfico 37 Resumen de Diseño de Experimento**  
Elaboración Propia

↓	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
	OrdenEst	OrdenCorrida	PtCentral	Bloques	A	B	C
1	11	1	1	1	-1	1	-1
2	5	2	1	1	-1	-1	1
3	3	3	1	1	-1	1	-1
4	7	4	1	1	-1	1	1
5	8	5	1	1	1	1	1
6	1	6	1	1	-1	-1	-1
7	14	7	1	1	1	-1	1
8	2	8	1	1	1	-1	-1
9	16	9	1	1	1	1	1
10	15	10	1	1	-1	1	1
11	4	11	1	1	1	1	-1
12	13	12	1	1	-1	-1	1
13	9	13	1	1	-1	-1	-1
14	10	14	1	1	1	-1	-1
15	6	15	1	1	1	-1	1
16	12	16	1	1	1	1	-1

**Gráfico 38 Matriz DOE**

Elaboración Propia

## 3.3.3.4 Desarrollo del experimento

En este punto se detallará la realización del experimento y se mostrará los resultados obtenidos. A continuación, se muestra en la tabla nº 14 la programación para la ejecución del ensayo.

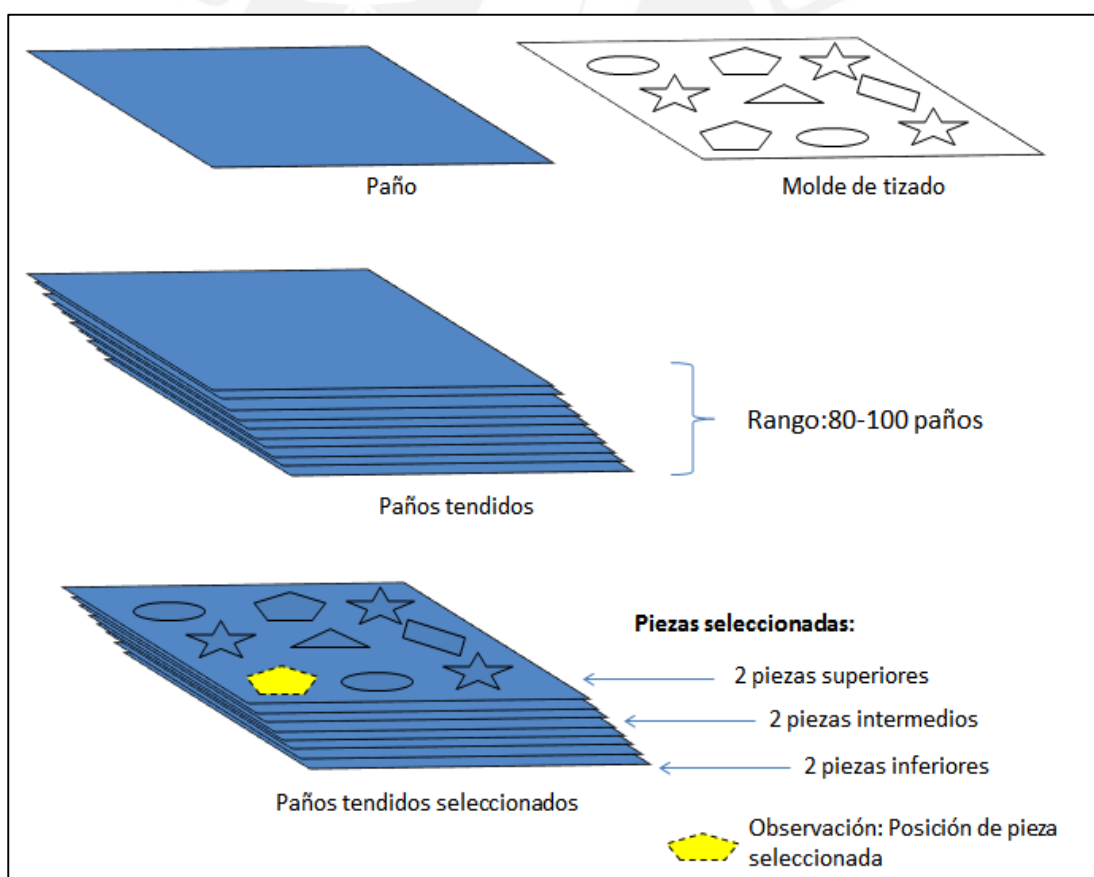
**Tabla 14 Programación DOE**

Tratamiento	A	B	C	Hrs	
b	-1	1	-1	6	día 1
c	-1	-1	1	2	día 1
b	-1	1	-1	6	día 2
bc	-1	1	1	6	día 3
abc	1	1	1	6,5	día 4
(1)	-1	-1	-1	2	día 5
ac	1	-1	1	2,5	día 5
a	1	-1	-1	2,5	día 5
abc	1	1	1	6,5	día 6
bc	-1	1	1	6	día 7
ab	1	1	-1	6,5	día 8
c	-1	-1	1	2	día 9
(1)	-1	-1	-1	2	día 9
a	1	-1	-1	2,5	día 9
ac	1	-1	1	2,5	día 10
ab	1	1	-1	6,5	día 10
				68	

Elaboración Propia

Se observa que el proyecto se realizó en diez días consecutivos. Para poder mantener las condiciones constantes en todos los tratamientos, se programó a los mismos operarios durante los turnos de ejecución del ensayo. Además, en ciertos días se realizaron hasta tres cortes dependiendo de la duración de los ensayos programados. Para mitigar el efecto de cansancio de los operarios, se estableció un periodo de descanso entre cortes de 45 minutos (hora de refrigerio).

Es importante indicar que luego de realizar cada corte programado aleatoriamente por el software Minitab, se procedió a tomar el conjunto de piezas ubicadas en la misma posición como se muestra en el gráfico n° 39 (color amarillo). Se tomaron las dos primeras piezas del conjunto de paños y se realizaron las respectivas mediciones por el operario de calidad; seguidamente, se seleccionó dos piezas de la parte media de todo el tendido y se realizaron las mediciones; por último, se seleccionó las dos últimas piezas del tendido y se realizaron las respectivas mediciones.



**Gráfico 39 Desarrollo de Cortes en Experimento**  
Elaboración Propia

Es preciso mencionar que para todos los experimentos realizados, se tomaron los paños ubicados exactamente en las mismas posiciones, tal como se muestra en el gráfico, con la finalidad de mantener las mismas condiciones para todos los ensayos y evitar la variabilidad entre los mismos.

### 3.3.3.5 Análisis de Resultados

En este acápite se analizará los resultados obtenidos del experimento con la finalidad de determinar los factores que son relevantes para la variable de respuesta. En la tabla nº 15 se muestra los valores de la variable de respuesta por cada tratamiento y sus respectivos promedios (diferencia). Además, se observa en el gráfico nº 40 el gráfico de cubos del experimento.

**Tabla 15 Resultados Variable de Respuesta**

	A	B	C	n1	n2	n3	n4	n5	n6	Diferencia
abc	1	1	1	5/32	3/16	1/4	1/4	3/16	1/4	19/89
ab	1	1	-1	1/8	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	11/48
1	-1	-1	-1	1/8	3/32	1/8	1/8	1/8	1/16	7/64
b	-1	1	-1	0	1/16	1/32	1/16	0	1/16	2/55
bc	-1	1	1	0	1/16	1/32	0	0	1/16	2/77
1	-1	-1	-1	3/32	1/8	1/16	3/32	1/8	1/8	5/48
a	1	-1	-1	- 1/2	- 3/8	- 5/16	- 7/16	- 3/8	- 3/8	- 19/48
ac	1	-1	1	- 7/16	- 7/16	- 1/2	- 5/16	- 1/2	- 3/8	- 41/96
bc	-1	1	1	1/32	0	1/16	1/32	0	1/16	1/32
a	1	-1	-1	- 1/2	- 5/16	- 5/16	- 3/8	- 5/16	- 7/16	- 3/8
c	-1	-1	1	1/8	1/16	1/16	3/32	3/32	1/8	3/32
b	-1	1	-1	0	1/16	0	0	0	1/16	1/48
abc	1	1	1	3/16	1/4	1/4	1/8	1/8	1/4	19/96
c	-1	-1	1	1/16	1/8	1/8	3/32	1/16	1/8	9/91
ac	1	-1	1	- 3/8	- 7/16	- 11/32	- 5/16	- 1/2	- 3/8	- 25/64
ab	1	1	-1	3/16	7/32	1/4	1/8	1/8	1/4	16/83

Elaboración Propia

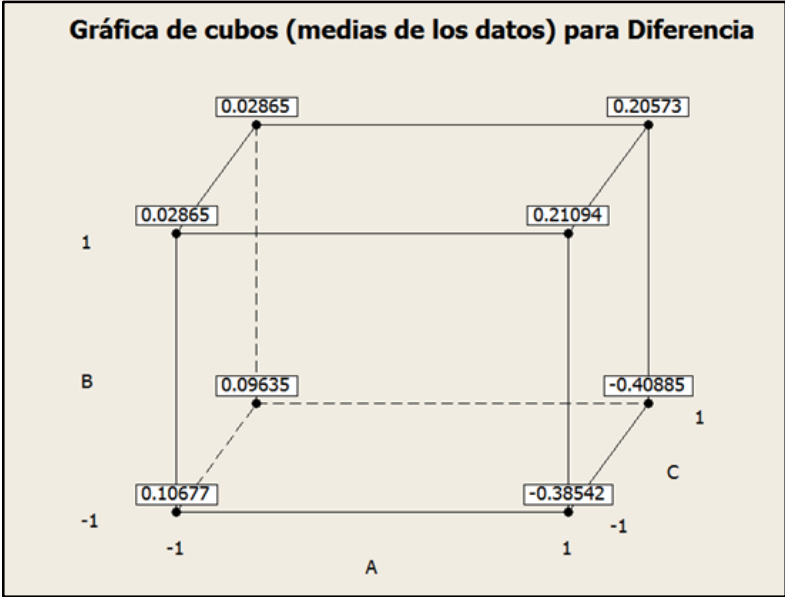


Gráfico 40 Gráfico de Cubos para diferencias DOE  
Elaboración Propia

Estos resultados fueron analizados en el software Minitab, donde se plantea la siguiente prueba de hipótesis:

$H_0: \tau_A = \tau_B = \tau_C = \tau_{AB} = \tau_{AC} = \tau_{BC} = \tau_{ABC} = 0$  (El factor no influye)

$H_1$ : El factor si influye en la variable de respuesta

Se obtuvo el análisis de varianza que se muestra en el gráfico nº 41.

Ajuste factorial: Diferencia vs. A, B, C

Efectos y coeficientes estimados para Diferencia (unidades codificadas)

Término	Efecto	Coef	SE Coef	T	P
Constante		-0.01465	0.003782	-3.87	0.005
A	-0.15951	-0.07975	0.003782	-21.09	0.000
B	0.26628	0.13314	0.003782	35.20	0.000
C	-0.00977	-0.00488	0.003782	-1.29	0.233
A*B	0.33919	0.16960	0.003782	44.84	0.000
A*C	-0.00456	-0.00228	0.003782	-0.60	0.564
B*C	0.00716	0.00358	0.003782	0.95	0.371
A*B*C	0.00195	0.00098	0.003782	0.26	0.803

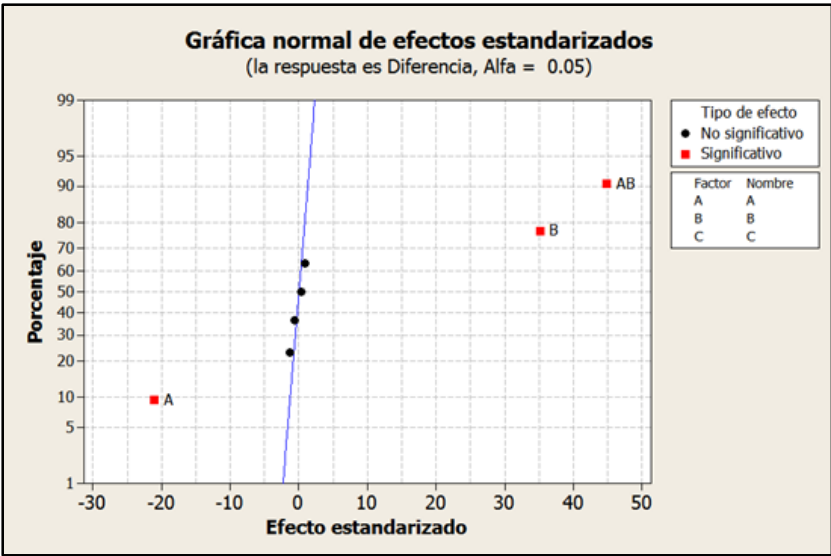
Gráfico 41 Análisis de Varianza DOE

Elaboración Propia

Se observa que los valores del p-value para los factores A, B y la interacción AB son menores a 0,05. Por lo tanto, estos factores son significativos y se rechaza la

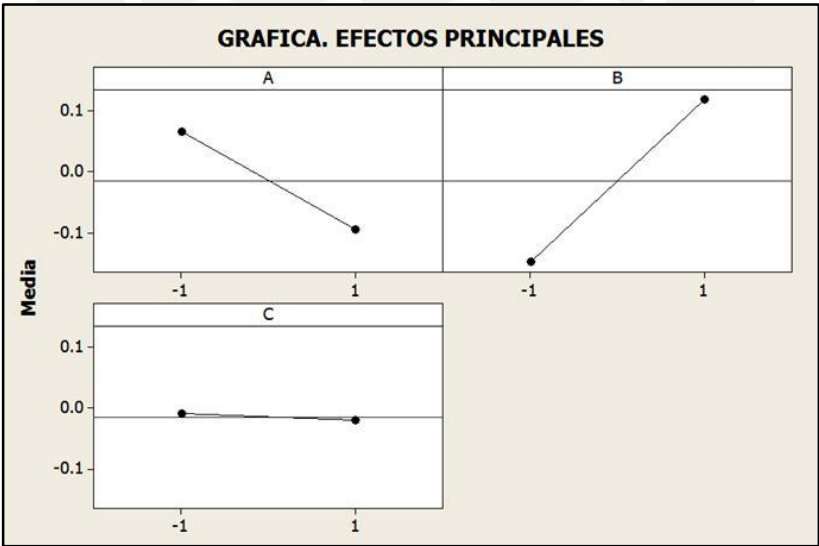


Hipótesis nula para estos factores. Esto se puede observar en el gráfico n° 42 donde se identifican los factores significativos.



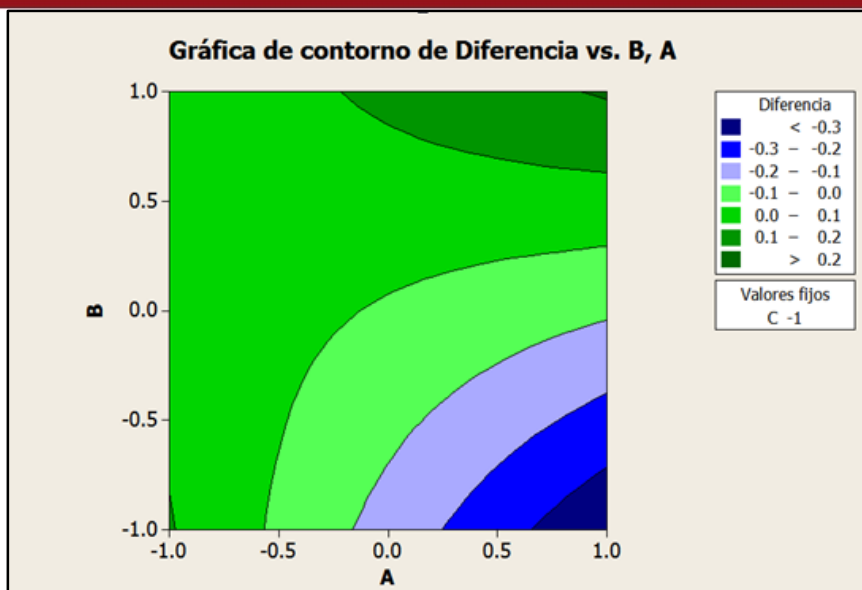
**Gráfico 42 Gráfica normal de Efectos Estandarizados**  
Elaboración Propia

A continuación, se muestra en el gráfico n° 43 los efectos principales. Se puede observar que el factor B tiene el mayor efecto en la variable de respuesta que los demás factores. Por otro lado, el factor C es el que tiene el menor efecto en la variable de respuesta.



**Gráfico 43 Grafico de efectos principales**  
Elaboración propia

Asimismo, en la gráfico n° 44 se muestra la superficie de contorno para los factores significativos A y B, observándose el rango de valores de la variable de respuesta que toma según las distintas combinaciones de A y B.

**Gráfico 44 Gráfico de contorno de diferencia vs. B, A**

Elaboración propia

Para validar los resultados obtenidos, se analizaron los residuales, que se puede ver en el anexo 21. Como resultado de este análisis se concluye que los residuales pasan satisfactoriamente las pruebas de normalidad, variabilidad y de aleatoriedad.

Por lo tanto, se concluye que los factores A (Número de paños), B (Tiempo de Reposo) y la interacción entre estos dos factores son relevantes para la variable de respuesta “Diferencia en medidas”. Se establece la siguiente ecuación con los coeficientes hallados en el análisis ANOVA.

$$Y = -0,01465 - 0,07975 * A + 0,13314 * B - 0,16960 * AB$$

### 3.4 Propuesta de mejora de los principales problemas

En el capítulo anterior se encontró las causas que originan los problemas de calidad en el área de corte. Con base en estos resultados el presente capítulo detalla las propuestas de mejora en el proceso. A continuación, se propone la combinación óptima de acuerdo con los resultados del diseño de experimentos. Seguidamente, se propone el uso del método Poka Yoke para evitar fallas inadvertidas. También, se propone la implementación de las 5s, la estandarización de procesos mediante la implementación de procedimientos y un plan de capacitación al personal.

3.4.1 Optimización de Diseño de Experimentos

En este punto, se desea conocer el ajuste adecuado de los factores relevantes para que la variable de respuesta se ajuste a una diferencia óptima de cero; para esto, se utilizó el optimizador de respuesta del software Minitab.

En el punto 3.3.3.5 se demostró que los factores relevantes para el proceso son número de paños y tiempo de reposo. Por este motivo, el optimizador buscará establecer los valores óptimos para estos factores.

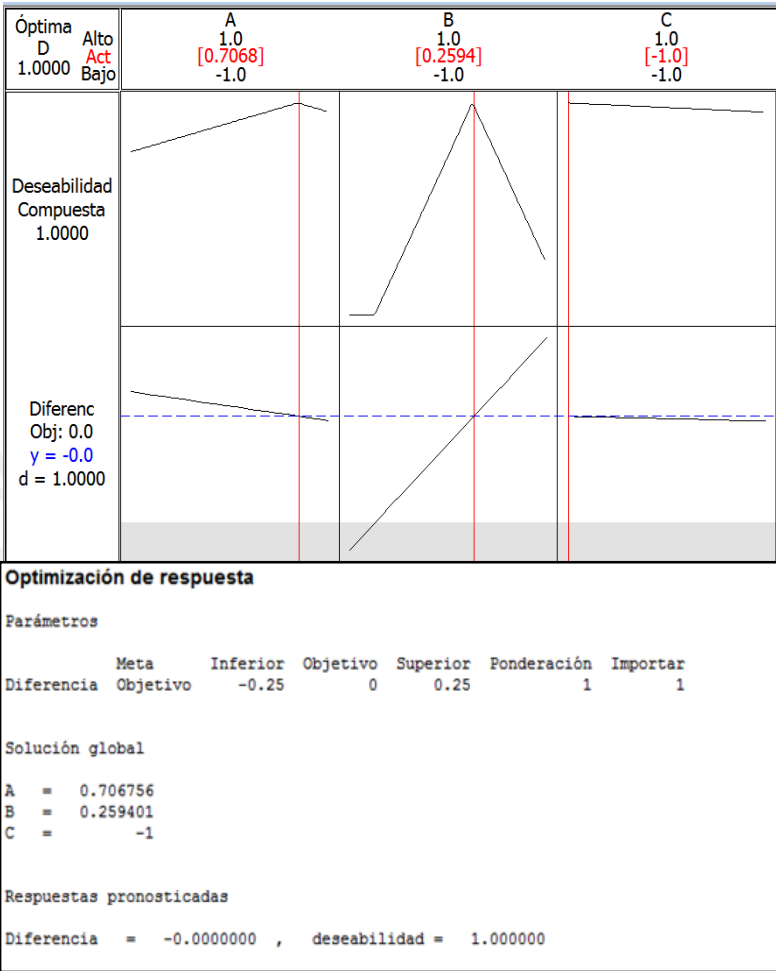


Gráfico 45 Optimización de DOE  
Elaboración Propia

En el gráfico n° 45 se puede observar la combinación de los niveles óptimos para cada factor a fin de obtener las menores diferencias en medidas en las piezas cortadas. Los resultados obtenidos indican que el nivel adecuado para el factor de número de paños es de 0.7067. Mientras que, para el factor tiempo de reposo el nivel óptimo es de 0.2594.

En conclusión, los niveles adecuados para los factores principales son los siguientes:



Factor A: Número de paños

- Nivel Óptimo: 0.7067
- Nivel Equivalente: 97 paños



Factor B: Tiempo de reposo

- Nivel Óptimo: 0.2594
- Nivel Equivalente: 2.5 horas

### 3.4.2 Método de Poka Yoke

La búsqueda por alcanzar cero defectos o disminuir al máximo los errores que se pueden cometer conlleva a utilizar el método Poka Yoke con el enfoque de prevenir el error o detectarlo. Este método se aplicará en el área de tendido y corte, ya que según el análisis causa efecto (Ishikawa) se identificó que uno de los principales problemas es la falta de mecanismos de control en ambas áreas.

A continuación se presentará la aplicación de la herramienta Poka Yoke para tres casos:

- Aplicación de un contador en el proceso de tendido: en el área de tendido, una de los factores críticos que se mostró en el Diagrama de Procesos es el número de paños tendidos. Este contador, ayudará a prevenir que los operarios excedan el número de paños óptimo para el tipo de tala a cortar. En el gráfico nº 46 se puede observar el detalle de la propuesta.

Propuesta Poka Yoke 1		
<b>Proceso:</b> Tendido de tela	<b>Prevención del error:</b> X	<b>Parada:</b> X
<b>Problema:</b> Confusión u olvido del número de paños tendidos	<b>Detección del error:</b>	<b>Control:</b> X
<b>Solución:</b> Contador consecutivo del número de paños		<b>Alarma:</b> X
<b>Mejora Clave:</b> Permite llevar la cuenta del número de paños tendidos y detener el proceso al activarse una alarma		
<b>Descripción del proceso:</b> Un conjunto de paños de tela es tendido en su respectiva mesa asignada para posteriormente entrar a la etapa bloqueo. El operario lleva una cuenta mental del número de paños tendidos y muchas veces se confunde o pierde la cuenta de estos.		
<b>Antes de mejora:</b>  Los colaboradores del área de tendido realizan la operación de acuerdo con los requerimientos que encuentra en la respectiva orden de corte trabajada. Sin embargo, el conteo de los paños tendidos lo realiza de forma mental, no colocando los paños de tela debidos por olvido o mal conteo, ocasionandose defectos en la operación de bloqueo y corte medidas.	<b>Después de mejora:</b>  Luego de colocar un contador para conocer de forma constante cuantos paños se tienen en cualquier instante de tiempo. Se ha mejorado el proceso de tendido de los paños ya que el operario de esta área tendrá un control de cuantos paños va tendiendo y saber también en que momento debe dejar de tender al encenderse alarma llegado al límite de paños permitidos por tipo de tela utilizada.	

**Gráfico 46 Propuesta Poka Yoke 1**

Elaboración Propia

- Manipulación adecuada de paños ya cortados: este Poka Yoke busca evitar que exista una mejor manipulación de las piezas cortadas y así evitar que estén expuestas a condiciones ambientales que puedan hacer cambiar la tonalidad de la tela. El detalle de la propuesta se observa en el gráfico n° 47.

Propuesta Poka Yoke 2		
<b>Proceso:</b> Manipulación de prendas ya cortadas	<b>Prevención del error:</b> X	<b>Parada:</b>
<b>Problema:</b> Cambio de tonalidad de prendas por exposición a determinadas condiciones ambientales	<b>Detección del error:</b>	<b>Control:</b> X
<b>Solución:</b> Colocar las prendas ya terminadas en estantes con los que cuenta la empresa (estantes no usados actualmente) a fin de no dejar expuestos a condiciones ambientales inadecuadas los paños ya terminados.		<b>Alarma:</b>
<b>Mejora Clave:</b> Manipulación adecuada de telas para su preservación óptima		
<b>Descripción del proceso:</b> Las piezas ya cortadas se dejan encima de las mesas de corte y expuestas al aire libre, haciendo que la tela esté expuesta a posibles variaciones de tonalidad por condiciones del ambiente.		
<b>Antes de mejora:</b>  Las piezas ya cortadas son colocadas encima de la mesa de corte y a su vez se encuentran expuestas a las condiciones ambientales que presenta la planta en el área de corte, como por ejemplo luz solar, polvo, etc. Como consecuencia de esta exposición se han tenido casos de cambio en la tonalidad de telas.	<b>Después de mejora:</b>  Las piezas cortadas son colocadas dentro de los estantes desocupados del área de corte, con ello se consigue que las piezas de tela no estén expuestas a luz solar, polvo, entre otras; permitiendo la prevención de cambios en tonos que son un costo innecesario para la empresa.	

**Gráfico 47 Propuesta Poka Yoke 2**

Elaboración Propia

- Realización de un Chek List previo al bloqueo y corte de piezas: este Poka Yoke, mostrado en el gráfico n° 48, busca eliminar las paradas en las operaciones por falta de materiales. Además, busca eliminar la causa de que las cuchillas se encuentre sin filo de acuerdo con el análisis de Ishikawa del capítulo 3.3.1.

Propuesta Poka Yoke 3		
<b>Proceso:</b> Bloqueo y corte de los paños indicados por la orden de corte	<b>Prevención del error:</b> X	<b>Parada:</b>
<b>Problema:</b> Se tienen los implementos incompletos o condiciones no óptimas para realizar las operaciones de bloqueo y corte. (cuchilla sin filo, estado no adecuado de la mesa de tendido, etc)	<b>Detección del error:</b>	<b>Control:</b> X
<b>Solución:</b> Colocar un Chek List en el área de corte (para los operarios de bloqueo y corte) con la finalidad de tener los implementos completos y las condiciones adecuadas de sus herramientas, necesarias para realizar su operación adecuadamente		<b>Alarma:</b>
<b>Mejora Clave:</b> Tener los implementos y condiciones adecuadas necesarias para el bloqueo y corte, desarrollando con ello, una tarea en condiciones óptimas		
<b>Descripción del proceso:</b> El bloqueo y corte de los paños de tela tendidos se realiza con la máquina cortadora, revisando los requerimientos de la orden de corte y el molde sugerido pero no se revisa de forma permanente el filo de la cuchilla o el estado de la mesa, obteniéndose finalmente piezas defectuosas		
<b>Antes de mejora:</b>  Los operarios encargados de bloqueo y corte utilizaban la cortadora recta para realizar estas operaciones. Sin embargo, no realizaban una verificación periódica del filo de la cuchilla o condiciones de la mesa, ocasionando al final de sus procedimientos piezas defectuosas.		<b>Después de mejora:</b>  Los operarios realizan un check list antes de realizar el bloqueo y corte de los paños tendidos. El resultado final son piezas con menor posibilidad de defectos.

**Gráfico 48 Propuesta Poka Yoke 3**

Elaboración propia

### 3.4.3 Implementación 5'S

Con el objetivo de lograr un ambiente de trabajo agradable, ordenado y limpio, además de mejorar la calidad de productos que realiza la empresa se aplicará la metodología de 5'S en el área de corte ya que es el área de estudio. Sin embargo esta actividad puede ser replicada en las demás áreas de la empresa con el fin que el buen funcionamiento sea en toda la cadena productiva.

Por ello realizará la metodología paso a paso:

- I. Seiri (seleccionar): en esta primera etapa se debe identificar y seleccionar los diferentes elementos que pueden ser utilizados en corte o que sobran del área, para ello:
  - Seleccionar con etiqueta de color rojo el grupo de retazos de tela que se encuentran al costado de las máquinas de collaretas y de los alrededores de la mesa de tendido para su posterior eliminación. Del mismo modo para



el caso de las retazos de tela producto del bloqueo y corte de los paños de tela.

- Seleccionar con etiqueta de color verde las bolsas que contienen collaretas ya terminadas.
- Seleccionar con etiqueta de color verde los conjuntos de piezas ya cortadas y finalizadas de la mesa de tendido.
- Seleccionar con etiqueta de color rojo las piezas defectuosas de las mesas de tendido y agruparlas.
- Seleccionar de color amarillos las moldes de tizado y las máquinas cortadoras verticales.
- Seleccionar de color naranja las máquinas cortadoras que se encuentran fuera de uso por tener un repuesto malogrado.

II. Seiton (organizar): en esta segunda etapa se debe organizar los elementos seleccionados en la etapa previa, en ese sentido se plantea:

- El conjunto de collaretas con etiqueta de color verde terminadas deben colocarse dentro de un estante asignado para este tipo de componente.
- Colocar las piezas cortadas con etiqueta de color verde en los estantes asignados para su protección en cuanto a tonalidad y condiciones ambientales.
- Las piezas cortadas con etiqueta de color rojo, que presentan defectos irremediables deben ser retirados del área y colocados en un almacén para su posterior venta a terceros (de acuerdo con el procedimiento que realiza la planta con material que no utiliza) ya que no volverá a utilizarse a lo largo del proceso productivo.
- Las máquinas cortadoras con etiquetas de color amarillo deben colocarse debajo de las mesas de corte, es en este lugar donde deben ubicarse luego de terminar el proceso de bloqueo o corte.
- Las máquinas etiquetadas de color naranja deben ser llevadas al taller de máquinas para poder ser reparadas o pasar por el respectivo mantenimiento.

(\*) Se debe tener en cuenta que los materiales que contengan etiquetas de color verde deben ser ubicados dentro de los estantes asignados ya que estos elementos seguirán participando en el proceso productivo.

III. Seiso (limpiar): en esta etapa se procederá a realizar la limpieza del área de corte, para ello:

- Se debe realizar una limpieza de todo el polvo producto del proceso de corte. Es decir limpiar las máquinas con las que cuenta el área, las mesas de tendido y habilitado y limpieza de las estructura externa de los estantes.
  - Luego se debe realizar una limpieza a fondo de los pisos del área de corte, para eliminar el polvo que cae por efecto de la operación de bloqueo, corte o de la limpieza de las mesas y estantes del área.
- IV. Seiketsu (estandarizar): el procedimiento antes descrito debe realizarse al final de cada semana con la finalidad que las instalaciones se encuentren en un estado óptimo consiguiendo que se tenga un ambiente agradable para los trabajadores con un proceso productivo organizado que busca mejorar la calidad. La elección de la frecuencia semanal es para que el orden se mantenga constante y no se recarguen los problemas de desorganización.
- V. Shitsuke (seguimiento): en esta etapa se busca dar un seguimiento a los pasos antes realizados y fomentar el compromiso de los trabajadores involucrados. En ese sentido se propone dar una charla diaria de 5 minutos, previo al inicio de las operaciones, a los trabajadores del área con el fin de destacar los beneficios obtenidos, como por ejemplo ambiente de trabajo agradable, ubicación rápida de las herramientas necesarias, mejoramiento de la seguridad para los trabajadores por pasadizos desocupados, etc.

(\*) Cabe indicar que antes de aplicar esta metodología de 5'S se debe dar una pequeña inducción a los trabajadores sobre esta herramienta y sus beneficios. Además se propondrá realizar este método en un lapso de 60 minutos al final de cada semana.

#### 3.4.4 Plan de Capacitación a Personal

En el presente estudio se considera que no solo se deben proponer valores óptimos para las operaciones, sino que también se debe incluir al factor humano en la mejora para que esta sea integral y efectiva. Ya que, se pueden realizar las mejores innovaciones y mejoras en un proceso, pero si estas no cuentan con la identificación e interés del operario no se podrá conseguir un nivel significativo de mejoras y disminución de piezas defectuosas. Cabe indicar que también se capacitará a los líderes de rango medio y alto, ya que son estos los encargados de supervisar los procesos y capacitar al personal que se encuentre a su cargo. Por esta razón se capacitarán a los operarios, líderes de rango medio y alto involucrados en el área de corte en temas identificados en el diagrama causa efecto (ver gráfico 36) y de acuerdo a los temas propuestos por los especialistas del área de corte:

- Concepto de la calidad y sus ventajas de aplicación. Círculo de la calidad.
- Orientación y conceptos de metodología DMAIC.
- Rol fundamental del trabajador para la empresa
- Herramientas de la calidad
- Liderazgo y fomento de metodología DMAIC
- Procesos y herramientas para los líderes de la metodología DMAIC
- Liderazgo del cambio
- Entrenamiento en habilidades básicas para mejora con metodología DMAIC
- Tipos de tela trabajada y sus procedimientos de uso
- Condiciones adecuadas del ambiente “Área de corte”
- Mantenimiento periódico y preventivo de sus máquinas cortadoras

Adicionalmente, es preciso indicar que a fin de que el Jefe del área de corte tenga un adecuado nivel de capacitación, que le permita no solo supervisar los procesos sino también liderarlos, es decir que entienda suficientemente bien la metodología Six Sigma para poder transmitirla al personal, se considera pueda llevar un Diplomado de Ingeniería de la Calidad.

Se plantea además un programa de capacitación trimestral (ver anexo 22: programa de capacitación) que contempla temas según el perfil del personal (ver anexo 23).

#### 3.4.5 Estandarización de Procesos

Con la finalidad de reducir la variabilidad de los procesos de tendido de tela y de corte se propone la elaboración de procedimientos para asegurar la estandarización de los mismos. Los procedimientos propuestos están orientados a asegurar la eficacia de los procesos y diseñados para:

- Comunicar la forma especificada de llevar a cabo el proceso: Los procedimientos indican la forma adecuada de realizar los procesos de tendido y corte para que los resultados se ajusten a las especificaciones de diseño.
- Preservar el conocimiento de la organización: Se desea preservar el *Know How* de la empresa y que sea comunicada continuamente a las personas involucradas en el proceso.

Los procedimientos propuestos se muestran en los anexos 24 y 25.

#### 3.4.6 Plan de mantenimiento preventivo de las máquinas de corte

Según el resultado del análisis causa efecto (Ver Gráfico nº 36) y de acuerdo con el resultado obtenido de la matriz AMFE, aunque con menor prioridad de riesgo, una de

las fuentes causantes de error de “diferencia en medidas” en el proceso de corte es la falta de mantenimiento preventivo de las máquinas cortadoras (máquina recta o vertical y máquina cintera). Teniendo en cuenta que la máquina vertical es la que tiene una mayor frecuencia de uso se propone implementar un procedimiento de uso de máquina recta de corte (Ver anexo 26) y un plan de mantenimiento preventivo para ambas máquinas (Ver anexo 27) con la finalidad de:

- Disminuir la frecuencia de piezas defectuosas por falta de filo o razones asociadas a la máquina de corte.
- Disminuir los tiempos muertos en el proceso de corte por fallas en las máquinas cortadoras.
- Elevar la vida útil de las máquinas cortadoras con las que cuenta el área.
- Reducir el costo por reparaciones.

### **3.5 Control de las mejoras propuestas**

En el presente acápite se mostrará los mecanismos de control para las mejoras propuestas. El objetivo de los mecanismos de control es asegurar que las mejoras se mantengan en el tiempo y detectar cambios que afecten al proceso para poder realizar los ajustes necesarios para mantener los procesos bajo control. A continuación, se propone la utilización de gráficas de control para las diferencias en medidas y uso de hojas de verificación para el proceso.

#### **3.5.1 Gráfico de Control por variable**

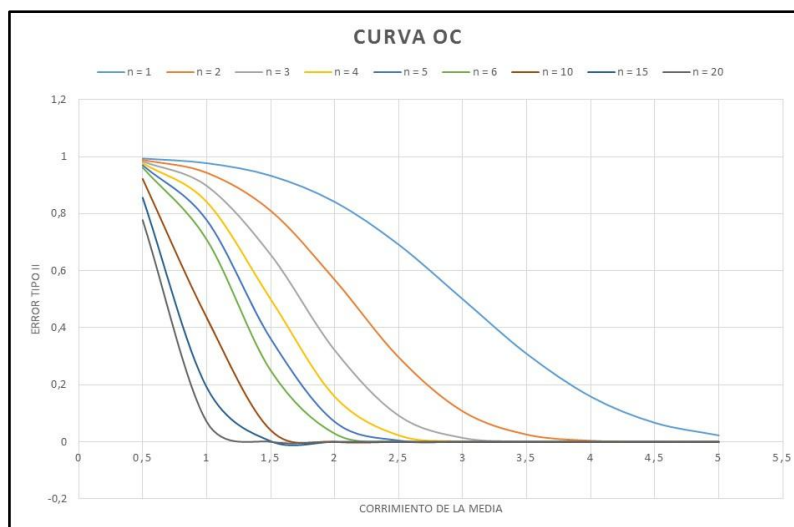
Debido a que se identificó en el acápite 3.2 que las variables diferencias de “Largo Espalda HB” y “Largo Delantero HB” son variables críticas para el área de corte. Se deberá establecer gráficas de control para estas variables.

El tipo de gráfico que se propone es el de X-R para poder controlar las diferencias en medidas de las piezas cortadas. A continuación, se especificará, la anchura de los límites de control, el tamaño de muestra y la frecuencia del muestreo.

Las cartas de control se establecerán a tres desviaciones estándar, para controlar el error tipo I y tipo de II.

El tamaño de muestra para la toma de datos será de seis. Se seleccionó, este tamaño, ya que según el gráfico nº 49 se reduce el error tipo II cuando el corrimiento de la media es mayor a dos veces el valor de la desviación estándar.

La frecuencia para la toma de muestras se establece cada cuatro horas, es decir dos veces por turno.



**Gráfico 49 Curva OC**  
Elaboración Propia

Teniendo esto en cuenta y luego de implementar las mejoras propuestas se deben tomar nuevos datos para establecer los límites de control para las diferencias en medidas Largo Delantero HB y Largo Espalda HB.

### 3.5.2 Monitoreo con hoja de verificación

Para ejercer un control sobre las propuestas de mejora, se propone utilizar una hoja de verificación (Ver anexo 28) para corroborar el cumplimiento de las condiciones adecuadas para la ejecución del proceso de corte. El supervisor de corte será el responsable de velar por el cumplimiento de las condiciones requeridas.

## CAPÍTULO 4: Evaluación técnica y económica de la propuesta de mejora

En este capítulo, se evaluará técnica y económicamente las propuestas de mejora para determinar su factibilidad de aplicación. Para esto, se detallará los costos para implementar las propuestas. Seguidamente, se proyectará en un periodo de tiempo los ahorros producto de las mejoras. Finalmente, se realiza la evaluación del valor presente neto y se determina la factibilidad de las propuestas de mejora; adicionalmente, se realizará un análisis de sensibilidad utilizando la simulación de Montecarlo.

### 4.1 Evaluación técnica de las propuestas de mejora

#### 4.1.1. Costos de propuestas de mejora

A continuación, se detallará los costos asociados a la implementación de las propuestas de mejoras.

#### Diseño de Experimentos

**Tabla 16 Costo Diseño de Experimentos**

Concepto	Detalle	Costo unitario	Total
Horas – Operarios	68	S/. 5,21	S/. 354,17
Piezas rechazadas	40	S/. 3,42	S/. 136,73
Piezas reprocesadas	160	S/. 4,27	S/. 683,67
Horas de análisis	12	S/. 25,00	S/. 300,00
		<b>Total</b>	<b>S/. 1.474,57</b>

Elaboración Propia

En la tabla nº 16 se detalla los costos del DOE, se observa que se ha considerado los costos por las horas asignadas a un operario adicional (no perteneciente a la planilla actual), quien colaborará, de forma exclusiva, en la ejecución del experimento, el costo por piezas rechazadas debido al experimento, el costo por reprocesar las piezas con diferencias en medidas y el costo por el análisis de los resultados obtenidos del experimento. El monto total asciende a S/. 1,474.57.



Método Poka Yoke – Contador manual**Tabla 17 Costo Poka Yoke Contador**

	Unidades	Costo unitario	Total	Total Soles
Contador de sobremesa	8	\$10,00	\$80,00	S/. 224,00

**Elaboración Propia**

Se ha considerado el costo por la compra de ocho contadores para las 4 mesas de tendido, se distribuirán dos en cada mesa. El costo total por los contadores es de S/. 224.00

Método Poka Yoke – Acondicionado Estantes**Tabla 18 Costo Poka Yoke Acondicionado Estantes**

	Horas	Nº Operarios	Costo unitario	Total
Acondicionado de estantes	12	2	S/. 5,21	S/. 125,00

**Elaboración Propia**

Se ha considerado el costo por el acondicionado de estantes, que actualmente no están en uso y se encuentran desorganizados, para el correcto almacenado de las piezas cortadas. Se propone hacer un pago adicional a dos operarios para que trabajen en la limpieza, organizado y rotulado de estos estantes. El costo total es de S/. 125.00.

Método Poka Yoke – Check List**Tabla 19 Costo Poka Yoke Check List**

	Horas	Nº Operarios	Costo unitario	Total
Diseño de Check List	4	2	S/. 5,21	S/. 41,67

**Elaboración Propia**

Se ha propuesto hacer un pago adicional a dos operarios de mayor experiencia para diseñar una hoja de verificación para los procesos de tendido y corte. El costo por el diseño de un check list se ha estimado en S/. 41.67

Implementación de 5 S'**Tabla 20 Costo Implementación 5'S**

	Horas	Costo H / Asesor	TOTAL
Tiempo de Implementación	168	S/. 50,00	S/. 8.400,00
Capacitación	40	S/. 25,00	S/. 1.000,00
		<b>TOTAL</b>	<b>S/. 9.400,00</b>

**Elaboración Propia**

Los costos por implementar las 5'S se ha estimado en base a las horas que tomará la implementación y además se ha considerado un costo por capacitación. Se ha estimado un costo total de S/. 9400.00

Estandarización de Procesos

Se ha considerado en este punto que el diseño de procedimientos e instructivos y capacitación de procedimientos esté a cargo de ingenieros industriales.

**Tabla 21 Costo Estandarización**

	Horas	Asesor	Costo Hora	Total
Diseño de Procedimientos e Instructivos	4	2	S/. 25	S/. 200,00
Capacitación en Procedimientos	8	1	S/. 25	S/. 200,00
			<b>TOTAL</b>	<b>S/. 400,00</b>

**Elaboración Propia**

El costo estimado para el diseño y capacitación al personal en el uso de los procedimientos e instructivos es de S/. 400,00

Plan de Capacitación de Personal

El costo total estimado por la capacitación al personal según el plan de capacitación del punto 3.4.4 es de S/. 2,885.00. Se contratará a un instructor para propósitos de capacitación. El detalle de los costos se encuentra en el anexo 29.

### Diplomado Ingeniería de la Calidad Six Sigma Green Belt

Como se ha indicado en el capítulo 3.4.4, la capacitación es un punto fundamental para el éxito integral de la mejora en el tiempo, por este motivo se ha estimado el costo de un diplomado de Ingeniería de la Calidad para el Jefe del área de corte valorizado en un total de S/.12,000.00.

### Implementación de Gráficos de Control

**Tabla 22 Costo Implementar Gráficos de Control**

	Horas	Costo H / Asesor	TOTAL
Tiempo de Implementación	8	S/. 35,00	S/. 280,00
Capacitación	12	S/. 35,00	S/. 420,00
		<b>TOTAL</b>	<b>S/. 700,00</b>

#### **Elaboración Propia**

Para el diseño de las gráficas de control se ha propuesto la contratación de un asesor y se ha estimado un costo de S/. 700.00 por implementación y capacitación en gráficos de control por variables.

Finalmente, el costo total de las propuestas de mejora se muestra a continuación:

**Tabla 23 Costo total de propuestas de mejora**

COSTO TOTAL DE PROPUESTAS DE MEJORA	S/. 27.250,24
Contingencia 10 % adicional	S/. 2.725,02
<b>TOTAL</b>	<b>S/. 29.975,26</b>

#### **Elaboración Propia**

El costo total asciende a S/. 29, 975.26 considerando un 10 % de contingencia para cubrir costos imprevistos en la ejecución del proyecto.

#### **4.1.2 Proyección de ahorros estimados**

Debido a que este proyecto no considera la etapa de implementación se realizará una proyección del ahorro estimado simulando los resultados del proceso luego de implementar las mejoras. Para ello, se ha realizado una simulación de la variable en estudio “Largo delantero HB” por el método de convolución con distribución normal debido a que en el punto 3.2.4 se demostró que la variable se ajusta a una distribución normal.

Para realizar la simulación de la variable “Largo delantero HB” se generó números pseudoaleatorios (ver anexo 30) y posteriormente se les aplicó las pruebas de corridas de “arriba y abajo” y “arriba y debajo de la media” (ver anexo 31) con el fin de comprobar que la cadena de números generada sea aleatoria, cumpliendo el requisito de independencia y uniformidad respectivamente. Luego de comprobada la aleatoriedad de los números generados se procedió a generar la variable simulada “Largo delantero HB”. Para esto se consideró el valor de 25 pulgadas para la media y 3 valores diferentes de desviación estándar, con el fin de evaluar los tres escenarios siguientes en la evaluación económica:

Desviación estándar 1 ( $\bar{s}=0,09$ ): Escenario Optimista

Desviación estándar 2 ( $\bar{s}=0,15$ ): Escenario Moderado

Desviación estándar 3 ( $\bar{s}=0,18$ ): Escenario Pesimista

Con estos valores de media y desviación estándar se hallaron los indicadores de capacidad de proceso, nivel sigma, ppm y porcentaje de defectuosos para los respectivos escenarios (Ver anexo 32). El resumen de estos indicadores se muestra en la tabla n° 24, en esta se pueden observar la comparación de los diferentes escenarios planteados a comparación de la situación actual.

**Tabla 24 Análisis de escenarios**

	Escenarios			Actual
	Optimista	Moderado	Pesimista	
Variación de Desviación Variable	61%	34%	21%	-
Media Variable	25	25	25	25
Desviación Variable	0,09	0,15	0,18	0,23
Desviación de la variable muestra	0,08	0,15	0,18	-
Nivel Sigma Z	2,65	1,25	0,94	0,69
Cp	0,97	0,54	0,46	0,39
PPM	3.109,24	96.350,83	161.447,95	277707
Defectuosos futuros	0,31%	9,64%	16,14%	27,77%
Piezas defectuosas futuras	186	5784	9684	-

**Elaboración propia**

Con estos valores calculados previamente se calcula en la tabla n° 25 el nuevo número de piezas defectuosas y el ahorros respectivo por cada uno de los escenarios planteados, luego de implementadas las mejoras.

Tabla 25 Proyección Ahorro

Producción mensual	60.000,00		
Costo reproceso	4,27		
	Escenarios		
	Optimista	Moderado	Pesimista
Defectuosos Esperados	186	5784	9684
Costo reproceso actual	71.146,74	71.146,74	71.146,74
Costo reproceso futuro	794,22	24.697,68	41.350,68
Ahorro Mensual	70.352,52	46.449.06	29.796.06

**Elaboración Propia**

Se puede observar que para los 3 escenarios planteados previamente se obtienen ahorros significativos, se debe indicar que se ha considerado un valor de producción promedio mensual de 60,000.00 de acuerdo a lo indicado por el jefe del área de corte.

## 4.2 Evaluación económica de las propuestas de mejora

### 4.2.1. Evaluación económica

A continuación se muestra la evaluación económica de los tres escenarios planteados. Para efecto de la evaluación se consideró un único desembolso de la inversión al calcular los valores presentes netos (VPN) y tasas de retorno (TIR).

Se ha considerado un financiamiento del 70 % del monto total de la inversión a una tasa efectiva anual de 10,10 %<sup>5</sup> y una inversión del capital del 30 % costo de capital de 12,21 %<sup>6</sup>. Por lo tanto, como se muestra en la Tabla nº 26 el costo promedio ponderado de capital (WACC) es de 10,73 %.

Tabla 26 Estructura de Financiamiento

**Estructura Financiamiento**

Capital Propio	S/. 8.992,58
Préstamo	S/. 20.982,68
TEA del préstamo	10,10%
Ke	12,21%
<b>WACC</b>	<b>10,73%</b>

**Elaboración Propia**

Teniendo en cuenta esta tasa se evaluó los flujos que se muestran detallados en los anexos 33, 34 y 35 para los escenarios pesimista, moderado y optimista respectivamente. Se debe tener en cuenta que los flujos de ahorro se proyectan

<sup>5</sup> Tasa de financiamiento para empresas medianas según la Superintendencia de Bancas Seguros y AFP

<sup>6</sup> Ver anexos 33, 34 y 35.

progresivamente; es decir, los ahorros estimados se darán de forma gradual durante los primeros meses de la implementación de las mejoras hasta alcanzar el nivel óptimo proyectado.

Los resultados de la evaluación económica se muestran en la tabla n° 27.

**Tabla 27 Resultados Evaluación Económica**

	VPN	TIR	Conclusión
<b>Escenario Pesimista</b>	S/. 75.383,49	15,22%	El VPN es mayor a cero, además el TIR es mayor al WACC. Por lo tanto, el proyecto es viable
<b>Escenario Moderado</b>	S/. 134.189,96	20,90%	El VPN es mayor a cero, además el TIR es mayor al WACC. Por lo tanto, el proyecto es viable
<b>Escenario Optimista</b>	S/. 218.599,86	26,56%	El VPN es mayor a cero, además el TIR es mayor al WACC. Por lo tanto, el proyecto es viable

**Elaboración Propia**

En conclusión, se demuestra que el proyecto es viable económicamente para los tres escenarios.

#### 4.2.2. Análisis de sensibilidad

En el acápite anterior se realizó una evaluación de escenarios considerando el cambio en un solo factor (porcentaje de defectuosos). En este punto, se realizó un análisis de sensibilidad para la evaluación del proyecto considerando una variación en dos factores (porcentaje de defectuosos y costo de reproceso). Para esto, se utilizó la simulación de Montecarlo con el soporte del software @Risk. Se definieron los siguientes supuestos:

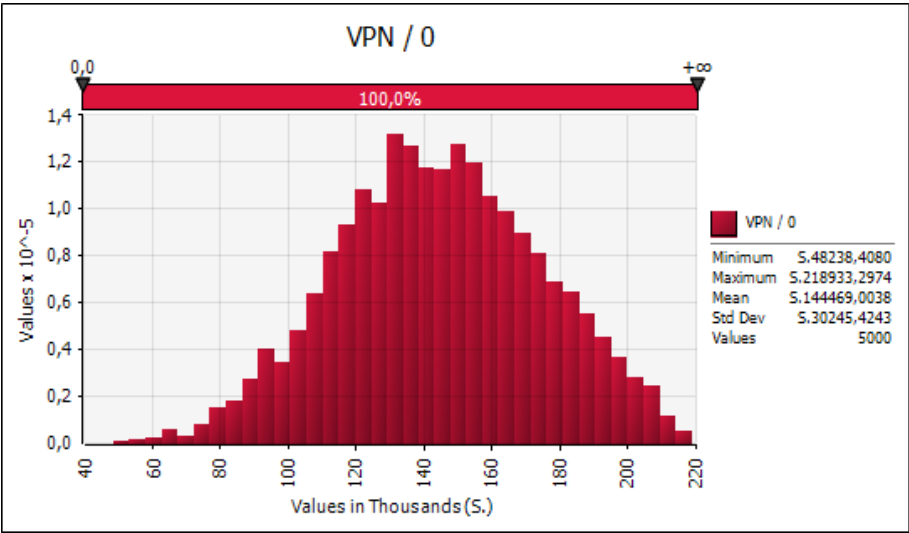
- El costo de reproceso mantiene una distribución weibull ( $\alpha = 2,65$ ,  $\beta = 1,25$ ) según el análisis mostrado en el anexo 36
- El porcentaje de defectuosos se ha estimado para efecto de la evaluación del proyecto que siga una distribución triangular con un valor mínimo (Optimista) de 0,31 %, un valor moderado de 9,64 % y un valor pesimista de 16, 14 %.
- La producción mensual del departamento de corte se ha estimado teniendo en cuenta una producción mensual de 60.000,00 prendas

Las variables de salida del modelo son las siguientes:

- Valor Presente Neto (VPN) y Tasa Interna de Retorno (TIR)

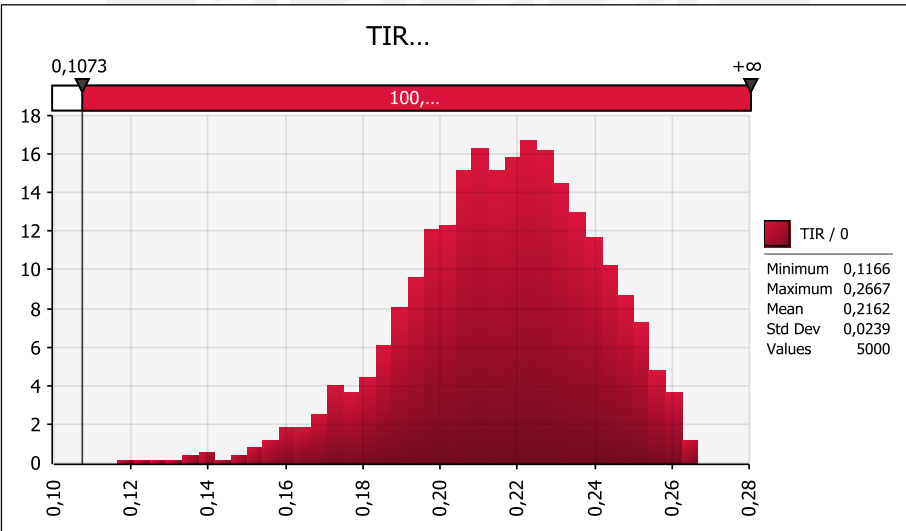


A continuación se muestra los resultados del modelo, luego de haber realizado 5.000,00 réplicas: Se observa en el gráfico nº 50 que el valor de VPN es mayor a cero con una probabilidad de 100 %, es decir el proyecto es rentable en todos los escenarios posibles.



**Gráfico 50 Distribución de frecuencias para VPN**  
Elaboración propia

En el gráfico nº 51 se observa que existe una probabilidad de 100 % que el valor de la TIR sea mayor al WACC (10,73%). Por lo tanto, el proyecto tiene una alta probabilidad de superar las expectativas del inversionista.



**Gráfico 51 Distribución de frecuencia TIR**  
Elaboración propia

Finalmente, luego de analizar ambos indicadores se concluye que el proyecto es económicamente viable.

## CAPÍTULO 5: Conclusiones y recomendaciones

### 5.1 Conclusiones

Luego de haber analizado los resultados en los capítulos anteriores se concluye lo siguiente:

- a) Para la realización del proyecto de mejora empleando la metodología DMAIC se requiere de la colaboración de un grupo de facilitadores dentro de la empresa que conozcan a detalle los procesos. Además, es importante el compromiso de la alta dirección para que el proyecto se ejecute y se interiorice en los colaboradores.
- b) La capacitación es un aspecto fundamental para que el proyecto obtenga resultados exitosos. Es importante que las personas involucradas en las fases del proyecto entiendan el idioma de las estadísticas y las herramientas necesarias para la mejora.
- c) En el capítulo dos se realizó un diagnóstico general de los procesos productivos de la empresa. Luego de analizar este diagnóstico se concluye que el proceso crítico es el de corte. Por este motivo, se debe aplicar la metodología DMAIC a este proceso.
- d) La etapa de definición sirve como línea base para el proyecto de mejora. Por lo tanto, se debe realizar una definición integral de la situación actual; es decir, tener en cuenta los requerimientos del cliente, las áreas involucradas al proceso, así como los problemas internos que presente el proceso. Al finalizar la etapa se debe tener objetivos claros para el desarrollo de las demás fases.
- e) En la etapa de definición se detalló el proceso de corte, se identificó la voz del cliente y se analizó los principales problemas. Como resultado del análisis se obtuvo que los principales problemas son “Asimetría” y “Diferencia en medidas”. Además, se estableció que las diferencias en medidas conllevan a obtener problemas de asimetría. Por lo tanto, se concluye que el principal problema para el proceso de corte es “Diferencia en medidas”.
- f) En la etapa de Medición se debe establecer un plan de muestreo para la recolección adecuada de los datos. Además, es importante determinar la confiabilidad del sistema de medición. Esta fase es importante, ya que muestra resultados que serán insumos para la fase de análisis.
- g) En la etapa de medición se obtuvo que los índices de capacidad de proceso para las variables relacionadas al problema eran menores a uno. Es decir, el proceso no está cumpliendo con las especificaciones del cliente.

- h) Luego de haber ejecutado la prueba de R & R se concluye que el sistema de medición utilizado por la empresa es confiable.
- i) La etapa de análisis es una etapa en la que se busca encontrar las causas raíces de los problemas, así como los factores que influyen en la variable de respuesta. Además, se busca encontrar las combinaciones de los factores que permitan que la variable de respuesta se ajuste a un valor óptimo.
- j) En la etapa de análisis se determinó que las causas relevantes que ocasionan los defectos por diferencia en medidas son: falta de procedimiento en operación de tendido, falta de procedimiento en la operación de corte, falta de orden y limpieza en la sección de corte, falta de mecanismos de control en el proceso de corte, falta de plan de mantenimiento preventivo de máquinas, entre otros.
- k) En la etapa de análisis fue fundamental el uso de un paquete estadístico como el Minitab ya que facilitó la obtención de resultados y representación de los mismos de forma gráfica.
- l) Para el planteamiento del diseño de experimentos fue muy importante la participación de las personas encargadas de los procesos de calidad y de corte, ya que con ellos se pudo establecer los parámetros y niveles para el ensayo.
- m) Luego del experimento, se concluye que el número de paños y el tiempo de reposo son parámetros relevantes del proceso.
- n) En la etapa de mejora es importante reconocer y aceptar que existen problemas. Esto permite establecer una brecha entre la situación actual del proceso y el objetivo a alcanzar. Además, la empresa debe estar preparada para romper paradigmas pre-establecidos con la finalidad de rediseñar los procesos y mejorarlos.
- o) En la etapa de mejora se estableció el número óptimo de paños a tender (noventa y siete), así como el tiempo de reposo adecuado para el tipo de tela trabajada (dos horas y media). Además, se ha propuesto la implementación de procedimientos documentados para los procesos de tenido y corte; asimismo, se estableció, tres métodos poka yoke para controlar el proceso. Para fomentar el orden y estandarizar se ha propuesto la implementación de 5 s'. Por último, se ha propuesto la implementación de un plan de mantenimiento de máquinas y un plan de capacitación al personal.
- p) En la etapa de control, se propuso establecer gráficos de control por variables para aquellas variables críticas como lo son "Largo Delantero HB" y "Largo Espalda HB"
- q) Finalmente, luego de haber evaluado el proyecto técnica y económicamente se concluye que es viable, obteniendo una alta probabilidad de éxito.

## 5.2 Recomendaciones

- a) Se recomienda que la alta dirección de la empresa fomente y se involucre en los proyectos de mejora. Esto puede darse a través de asignar recursos, asignar un responsable o sponsor para los proyectos.
- b) Se recomienda implementar el plan de capacitación y hacer una revisión constante de los temas para actualizarlo según las nuevas necesidades que demanden los procesos.
- c) Se recomienda implementar el plan de mantenimiento de las máquinas, en especial el de las máquinas de corte.
- d) Se recomienda implementar los procedimientos para las operaciones de tendido y corte. Además, se sugiere capacitar a los empleados en el uso de estos.
- e) Se sugiere formar grupos conformados por operarios y supervisores que se reúnan y planteen oportunidades de mejora para el proceso de forma planificada. Estos grupos plantearán los problemas que se presenten y propondrán mejoras al problema. Para esto, es fundamental que se tome en cuenta la recomendación en el inciso b).
- f) Se recomienda que se realice el diseño de experimentos para los otros tipos de telas que se procesan en el área de corte.
- g) Se recomienda que se implemente el método de las 5S' no sólo en el área de corte sino que en las demás áreas de la empresa.
- h) Se sugiere concientizar a los colaboradores en temas relacionados a costos de calidad y su impacto en la empresa.
- i) Se recomienda el uso de las hojas de verificación para ejercer un control sobre las condiciones adecuadas para el proceso de tendido y de corte.
- j) Se recomienda ejecutar eventos KAIZEN con la finalidad de mejorar los procesos productivos.
- k) Se recomienda utilizar la metodología DMAIC como base para las propuestas de mejora futuras en los procesos productivos de la empresa.

## Referencias Bibliográficas

### LIBROS

BARBA, Enric

2000 *Seis Sigma una iniciativa de calidad. 2<sup>da</sup> Edición.* Barcelona: Gestión.

BREYFOGLE, Forrest W.

2003 *Implementing SIX SIGMA Smarter Solutions Using Statistical Methods.* New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.

COLLIER, David y James EVANS.

2009 *Administración de Operaciones Bienes, Servicios y Cadena de valor. 2<sup>da</sup> Edición.* México: Cengage Learning Inc.

ECKES, George.

2003 *Six Sigma for everyone.* New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.

ESCALANTE VASQUEZ, Edgardo.

2003 *Seis-Sigma: metodología y técnicas.* México: Limusa.

GOMEZ, Fermin, José VILLAR y Miguel TEJERO.

2002 *Seis Sigma.* Madrid: Fundación Confemetal.

KOGIO SHIMBUN, Nikkan

1991 *Poka Yoke: Mejorando la Calidad del Producto evitando los defectos.* Madrid: Tecnologías de Gerencia y Producción.

KRAJEWSKI, Lee, Larry RITZMAN y Manoj MALHOTRA.

2008 *Administración de Operaciones: Proceso y Cadena de Valor.* 8<sup>va</sup> Edición Naucalpan de Juárez: Pearson.

MONTGOMERY, Douglas

2006 *Control Estadístico de la Calidad.* 3<sup>da</sup> Edición. México: Limusa Wiley.

MONTGOMERY, Douglas

2004 *Diseño y Análisis de Experimentos.* 2<sup>da</sup> Edición. Limusa Wiley.

MUTHER, Richard

1977 *Distribución en Planta.* 3<sup>ra</sup> Edición. Barcelona: Hispano Europea.

PANDE, Peter

2002 *¿Qué es Seis Sigma?* Madrid: Mc-Graw Hill.

PANDE, Peter

2000 *The Six Sigma Way.* New York: Mc-Graw Hill.

PYZDEK, Thomas

2003 *The Six Sigma Handbook.* New York: Mc- Graw Hill.

YANG, Kai

2003 *Design for six sigma.* New York: Mc- Graw Hill.



## TESIS

García Sánchez, Jhonny Manuel

2010                      Análisis y mejora del proceso productivo usando la metodología Six Sigma en una empresa panificadora. Tesis (Lic. Ing Industrial) Lima, Pontificia Universidad Católica del Perú. Facultad de Ciencias e Ingeniería.2010. 104 p

Lovatón, Haaman Alejandra

2010                      Mejora en el proceso de producción de la línea de tela estampada de una empresa textil. Tesis (Lic. Ing Industrial) Lima, Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería. 2006. 114 p.

Okeda Tanaka, Roberto

2007                      Mejora del proceso de mantenimiento en una empresa de renting utilizando la metodología Six Sigma. Tesis (Lic. Ing Industrial) Lima, Pontificia Universidad Católica del Perú. Facultad de Ciencias e Ingeniería.2007. 100 p

Pascual Calderón, Emilsen

2009                      Mejora de procesos en una imprenta que realiza trabajos de impresión offset, empleando la metodología Six Sigma. Tesis (Lic. Ing Industrial) Lima, Pontificia Universidad Católica del Perú. Facultad de Ciencias e Ingeniería.2009. 105 p

Príncipe De Lama, José Carlos

2008                      Mejora en la eficiencia de procesos en un taller automotriz . Tesis (Lic. Ing Industrial) Lima, Pontificia Universidad Católica del Perú. Facultad de Ciencias e Ingeniería.2008. 109 p

Ramos Flores, José Miguel

- 2012                      Análisis y propuesta de mejora del proceso productivo de una línea de fideos en una empresa de consumo masivo mediante el uso de herramientas de manufactura esbelta. Tesis (Lic. Ing Industrial) Lima, Pontificia Universidad Católica del Perú. Facultad de Ciencias e Ingeniería.2012. 107 p

Yep Leung, Tommy Alejandro

- 2011                      Propuesta y aplicación de herramientas para la mejora de la calidad en el proceso productivo en una planta manufacturera de pulpa y papel tisú. Tesis (Lic. Ing Industrial) Lima, Pontificia Universidad Católica del Perú. Facultad de Ciencias e Ingeniería.2011. 101 p

#### ARCHIVOS ELECTRÓNICOS

Minitab Inc.

- 2010                      *Gage Studies for Continuous Data*. Consulta: 10 Junio 2013  
  
<[http://www.minitab.com/uploadedFiles/Shared\\_Resources/Documents/Sample\\_Materials/TrainingSampleMeasurementSystemsMTB16EN.pdf](http://www.minitab.com/uploadedFiles/Shared_Resources/Documents/Sample_Materials/TrainingSampleMeasurementSystemsMTB16EN.pdf)>